

Vysoká škola báňská - Technická univerzita Ostrava

17. listopadu 15, 708 33 Ostrava - Poruba

Fakulta bezpečnostního inženýrství

Katedra požární ochrany

Ochrana kulturního dědictví před požáry

Disertační práce

pro získání akademického titulu „doktor“, ve zkratce „Ph.D.“

Autor: Ing. Tereza Česelská

Školitel: doc. Ing. Miroslava Netopilová, CSc.

Studijní program: Požární ochrana a průmyslová bezpečnost

Studijní obor: Požární ochrana a bezpečnost

Ostrava, 30.6. 2012

Abstrakt

Česelská, T. *Ochrana kulturního dědictví před požáry*. Ostrava: Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava. Fakulta bezpečnostního inženýrství. Katedra požární ochrany, 2012. 132 s. Vedoucí disertační práce doc. Ing. Miroslava Netopilová, CSc.

Disertační práce se zabývá problematikou požární ochrany památkově chráněných objektů. Při řešení rekonstrukce památkově chráněného objektu, zejména rekonstrukce, která je spojena s návrhem nového využití objektu, je nutné posoudit, zda navržené změny objektu jsou z hlediska požární bezpečnosti možné. Při řešení požární bezpečnosti památkově chráněného objektu nelze postupovat stejně, jako při posuzování novostavby. Změny dispozice objektu, zásahu do stavebních konstrukcí z hlediska požadavků požárně bezpečnostního řešení i instalace systémů požárně bezpečnostních zařízení je nutné vždy konzultovat s místně příslušným Národně památkovým ústavem. Disertační práce představuje specifika projektového řešení požární bezpečnosti rekonstrukcí památkově chráněných objektů.

Metodika hodnocení spolehlivosti stávajících konstrukcí je uvedena v ČSN ISO 13 822. V dokumentu však nejsou zpracovány postupy hodnocení stávajících konstrukcí z hlediska požární odolnosti. Obecně lze hodnotu požární odolnosti stavební konstrukce získat na základě velkorozměrových zkoušek požární odolnosti nebo výpočtem. V praxi se prokazování dosažené požární odolnosti nejčastěji provádí užitím tabulkových hodnot, které byly získány z požárních zkoušek a interpolací a extrapolací výsledků zkoušek. Prokazování požární odolnosti konstrukcí památkově chráněných objektů velkorozměrovými zkouškami požární odolnosti je velmi problematické z hlediska zachování autentických stavebních konstrukcí, které by byly v případě podrobení zkoušce požární odolnosti poškozeny. V disertační práci jsou představeny metody hodnocení požární odolnosti stávajících stavebních konstrukcí. Pro konkrétní případ konstrukce – dodatečně vyztužené klenby – byla zpracována nová metodika hodnocení požární odolnosti, která vychází z principů posouzení požární odolnosti podle Eurokódů. Při řešení problematiky lze vycházet z předpokladu, že únosnost dodatečně vyztužených kleneb za zvýšených teplot bude odpovídat chování materiálů, které byly použity na jejich rekonstrukci a sanaci. Dojde-li ke kolapsu ztužujícího prvku, nelze vyloučit ztrátu únosnosti celé klenby. Proto musí být na ztužující prvky kladeny odpovídající požadavky nejen z hlediska statiky, ale také z hlediska požární bezpečnosti.

Klíčová slova:

památkově chráněný objekt; požární bezpečnost; požární odolnost

Abstract

Česelská, T. *Protection of cultural heritage in front of fire..* Ostrava: VŠB – Technical University of Ostrava. Faculty of Safety Engineering. Department of Fire Protection, 2012. 132 s. Supervisor of thesis doc. Ing. Miroslava Netopilová, CSc.

The presented thesis deals with a fire safety of listed buildings. It is necessary to assess whether the designed alterations are possible from the fire safety requirements point of view when solving the reconstruction of listed buildings, particularly reconstruction containing design of new buildings use. It is not possible to assert the same rules in solving the fire safety for listed buildings as for new buildings judgement. The premises disposition alterations, the intervention into structural systems from the fire safety point of view, as well the instalation of the fire safety equipments are always necessary to consult with locally authorized The National Heritage Institute. The thesis represents particularities details of the fire safety project solving of listed buildings reconstruction.

The appraisal of an existing constructions reliability methodology is stated in CSN ISO 13 822. However, there are not executed the appraisal of an existing constructions methods from the fire resistance point of view in this document. In general, it is possible to get the fire resistance value from large-scale testings of fire resistance, or it is calculated. To prove the acquired fire resistance in practice is most often done by the use of tabular values, which has been obtained by fire testings, and theirs results are then intrapolated and extrapolated. It is very complicated to establish the fire resistance of listed buildings by the large-scale testings from the point of view of authentic structural systems conservation, which would be damaged in case of taking the tests. For the specific case of construction – additionally reinforced vaults – the new methodology of fire resistance appraisal has been elaborated. This new methodology is based on the fundamental principles of the fire resistance appraisal according to the Eurocodes. In this issue solving, one can make a theory based on an assumption that the fire resistance value of additionally reinforced vaults will correspond to the fire resistance value of reinforcing elements, which have been used for reconstruction and rehabilitation. For that reason it is necessary to determine corresponding requirements for the reinforcing elements not only from the point of view of structural analysis but either from the fire safety viewpoit.

Keywords:

listed buildins; fire safety; fire resistance

Prohlašuji, že jsem celou disertační práci vypracovala samostatně s použitím literatury uvedené v soupisu bibliografických citací a v souladu se Studijním řádem.

V souladu s § 47b zákona č. 111/1998 Sb. v platném znění souhlasím se zveřejněním celé disertační práce prostřednictvím informačního systému VŠB – TU Ostrava umožňujícího dálkový přístup.

Jsem seznámena s tím, že na mou disertační práci se vztahuje zákon 121/2000 Sb., o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (autorský zákon) v platném znění, zejména § 60 – školní dílo.

Beru na vědomí, že VŠB – TU Ostrava nezasahuje do mých autorských práv užitím mé disertační práce pro vnitřní potřebu VŠB – TU Ostrava (§35 odst. (3) zákona 121/2000 Sb. v platném znění).

Užiji-li disertační práci nebo poskytnu-li licenci k jejímu využití, jsem si vědoma povinnosti informovat o této skutečnosti VŠB – TU Ostrava; v tomto případě má VŠB – TU Ostrava právo požadovat ode mne úhradu nákladů, které vynaložila na vytvoření díla, až do jejich skutečné výše (§60 odst. (3) zákona 121/2000 Sb. v platném znění).

V Ostravě 30.6.2012

Ing. Tereza Česelská

Předmluva

Předkládaná práce se zabývá specifiky požární bezpečnosti památkově chráněných objektů. Zaměření disertační práce jsem volila s ohledem na mou profesi projektanta požární bezpečnosti staveb. V rámci praxe jsem se setkala s rekonstrukcemi a změnou využití památkově chráněných objektů. Při zpracování projektů požárně bezpečnostních řešení daných objektů bylo nutné nalézt optimální řešení mezi požadavky památkářů a kodexu norem požární bezpečnosti. Problematika řešení požární bezpečnosti památkově chráněných objektů mne zaujala, z tohoto důvodu jsem si dané téma zvolila pro zpracování disertační práce.

Touto cestou bych ráda poděkovala lidem, bez kterých by tato práce nevznikla. Ať již přispěli konkrétní pomocí, radou nebo morální podporou. Tato práce vznikla pod trpělivým vedením Doc. Ing. Miroslavy Netopilové, CSc., které vděčím za mnohé odborné rady. Odborným poradcem práce byla také paní Ing. Isabela Bradáčová, CSc., které děkuji za všechny věcné připomínky. Dále děkuji kolegům Fakulty stavební VŠB – TUO za časté konzultace z oblasti stavebních konstrukcí.

Obsah

ABSTRAKT	2
ABSTRACT	3
PŘEDMLUVA	5
OBSAH.....	6
SEZNAM OBRÁZKŮ	8
SEZNAM GRAFŮ	11
SEZNAM TABULEK	12
SEZNAM SYMBOLŮ, ZKRATEK A ZNAČEK	13
1. ÚVOD DO PROBLEMATIKY	15
1.1 Současný stav problematiky	18
2. CÍLE A METODIKA DISERTAČNÍ PRÁCE	26
3. SESTAVENÍ PŘEHLEDU SPECIFIK ŘEŠENÍ POŽÁRNÍ BEZPEČNOSTI PAMÁTKOVĚ CHRÁNĚNÝCH STAVEB.....	28
3.1 Analýza zdolávání požárů v památkově chráněných objektech.....	33
3.2 Požárně bezpečnostní zařízení v památkově chráněných objektech	39
4. ANALÝZA SOUČASNÝCH METOD HODNOCENÍ POŽÁRNÍ ODOLNOSTI STÁVAJÍCÍCH STAVEBNÍCH KONSTRUKCÍ	50
4.1 Návrh požární odolnosti zděných a hrázdných konstrukcí	51
4.2 Návrh požární odolnosti dřevěných konstrukcí	54
4.3 Specifika návrhu požární odolnosti litinových konstrukcí	57
4.4 Posouzení požární odolnosti požárních uzávěrů	58
4.5 Možnosti zvýšení požární odolnosti historických konstrukcí	59
5. ROZBOR A HODNOCENÍ METOD REKONSTRUKCÍ A SANACÍ KLENEB.....	66

5.1	Statické působení kleneb	66
5.2	Poruchy zděných kleneb	69
5.3	Metody zesilování historických zděných kleneb	71
6.	NÁVRH METODICKÉHO POSTUPU POSOUZENÍ POŽÁRNÍ ODOLNOSTI KLENEB	80
6.1	Aplikace metodiky - ocelové táhlo umístěné v líci klenby	86
6.2	Aplikace metodiky - lící železobetonová skořepina	88
6.3	Aplikace metodiky - výztuž umístěná v líci klenby	93
7.	ZÁVĚRY DISERTAČNÍ PRÁCE	99
8.	CONCLUSION OF THE DISSERTATION	102
9.	POUŽITÁ LITERATURA	105
10.	SEZNAM VLASTNÍCH PUBLIKACÍ SOUVISEJÍCÍCH S DISERTAČNÍ PRACÍ... ..	114
	PŘÍLOHA A	115
	PŘÍLOHA B	131

Seznam obrázků

Obr. 1 Vědra na vodu sloužící k hašení požáru, zámek Telč [38]	21
Obr. 2 Schéma zajištění požární bezpečnosti objektu [46]	23
Obr. 3 Výsuvné požární schodiště, Chiesa di Santa Chiara. Sulmona [48].....	31
Obr. 4 „Bezpečnostní totem“ - sloup zahrnující prvky požární ochrany [49]	32
Obr. 5 Bezpečnostní značení únikových cest Pražský hrad [foto Ing. Rudolf Kaiser]	32
Obr. 6 Bezpečnostní značení únikových cest hrad Bouzov [foto autor].....	32
Obr. 7 Vjezd na 2. nádvoří zámku Český Krumlov [foto autor].....	34
Obr. 8 Taktické cvičení požáru objektu mincovny, zámek Český Krumlov [foto autor]	34
Obr. 9 Nástěnný hadicový systém v interiéru Národního divadla [foto Ing. Rudolf Kaiser]	37
Obr. 10 Nástěnný hadicový systém a tlačítkový hlásič požáru v interiéru zámku v Českém Krumlově [foto autor]	37
Obr. 11 Příklad operační karty z databáze The Scottish Historic Buildings National Fire Database [49].....	38
Obr. 12 Bodový hlásič ukrytý v ornamentu stropu [foto Ing. Rudolf Kaiser].....	41
Obr. 13 Integrovaný lineární hlásič v prostorách Španělského sálu [foto Ing. Rudolf Kaiser] ..	42
Obr. 14 Možné způsoby umístění nasávacího potrubí detektoru kouře v prostoru kostela [50].	43
Obr. 15 Externí sací body nasávacího systému vedeného v podhledu [50]	44
Obr. 16 Porušení stropní konstrukce kondenzací vodní páry u nasávacího bodu detekčního systému [38]	44
Obr. 17 Detekce požáru ve venkovním prostředí za pomoci termovize [44]	45
Obr. 18 Potrubí a hlavice vodního SHZ v barvě okolních konstrukcí [44]	46
Obr. 19 Ilustrativní obrázek nosné zděné stěny,	52
Obr. 20 Hrázděná konstrukce [70][74]	53
Obr. 21 Povalový strop [74]	54

Obr. 22 Roubené stěny [93]	57
Obr. 23 Litinové sloupy, nádraží Liverpool Street Station, Londýn [119]	57
Obr. 24 Posouzení požární odolnosti dveří, klasifikace E15 a E30 [71]	58
Obr. 25 Skrytý samozavírač požárních dveří [44]	59
Obr. 26 Možnosti zvýšení požární odolnosti stávající stropní dřevěné konstrukce prezentované v zahraniční literatuře [55],[44],[94]	60
Obr. 27, 28 Protipožární dveře zámek Český Krumlov – replika původních dveří [105]	61
Obr. 29 Poškozená nosná dřevěná konstrukce krovu [43]	63
Obr. 30 Řez rámovými dveřmi [autor]	65
Obr. 31 Základní názvosloví konstrukce klenby [8]	66
Obr. 32 Síly působící v řezu klenby A – A' [autor]	67
Obr. 33 Síly působící na krajní podporu klenby [autor]	68
Obr. 34 Síly působící na střední podporu klenby [autor]	68
Obr. 35 Vzepětí, rozpětí a tloušťka klenby v patě a ve vrcholu [autor]	69
Obr. 36 Porušení klenby přetížením [8]	71
Obr. 37 Porušení klenby rozestoupením opěrných zdí [8]	71
Obr. 38 Stabilizace klenby - táhlo v patě klenby [autor]	72
Obr. 39 Stabilizace klenby - táhlo na rubu klenby [autor]	72
Obr. 40 Stabilizace klenby - kombinované kleště v kombinaci s ocelovým nosníkem [autor] ..	73
Obr. 41 Stabilizace klenby - kombinované kleště v kombinaci s táhlem [autor]	73
Obr. 42 Stabilizace podpor klenby předepnutím [autor]	74
Obr. 43 Stabilizace podpor klenby lanem [autor]	74
Obr. 44 Nadezdívka v patní části klenby [autor]	75
Obr. 45 Rubová železobetonová skořepina [autor]	76
Obr. 46 Lícni železobetonová skořepina [autor]	76

Obr. 47 Helikální výztuž [117].....	77
Obr. 48 Helikální výztuž detail [117]	77
Obr. 49 Uhlíkové výztužné tyče [41].....	78
Obr. 50 Uhlíkové výztužné lamely [41].....	78
Obr. 51 Uhlíkové výztužné tkaniny [41]	79
Obr. 52 Zesílení klenby pásy kompozitní tkaniny [41]	79
Obr. 53 Schéma návrhu stavebních konstrukcí na účinky požáru [21]	81
Obr. 54 Schéma posouzení dodatečně vyztužené zděné klenby na účinky požáru [autor].....	85
Obr. 55 Příklad stanovení součinitele průřezu nechráněných ocelových prvků [autor].....	86
Obr. 56 Detail umístění výztuže v železobetonové lícni skořepině [autor]	90
Obr. 57 Závislost pevnosti kompozitních výztuží na teplotě podle [97]	94
Obr. 58 Klenba vyztužená pomocí předpjatých lan umístěných v opěrném zdivu [autor]	98

Seznam grafů

Graf 1 Počet požárů církevních a jiných historických objektů v letech 2000 – 2010 [autor] ..	19
Graf 2 Grafické vyjádření příčin požárů historických a církevních objektů v ČR [autor]	19
Graf 3 Grafické vyjádření škod požárů historických a církevních objektů v ČR v letech 2000 – 2010 [autor]	20
Graf 4 Vliv teploty na hodnoty měrné tepelné kapacity c_a a součinitele prostupu tepla λ_a pálených zdících prvků o objemové hmotnosti v rozmezí 900 – 1200 kg/m ³ [81]	82
Graf 5 Teplotní profil železobetonové skořepiny $h = 60$ mm v čase $t = 15$ minut [autor]	91
Graf 6 Teplotní profil železobetonové skořepiny $h = 60$ mm v čase $t = 30$ minut [autor]	91
Graf 7 Teplotní profil železobetonové skořepiny $h = 60$ mm v čase $t = 45$ minut [autor]	91
Graf 8 Teplotní profil železobetonové skořepiny $h = 60$ mm v čase $t = 60$ minut [autor]	91
Graf 9 Teplotní profil železobetonové skořepiny $h = 60$ mm v čase $t = 90$ minut [autor]	91
Graf 10 Teplotní profil zděné klenby tl. 150 mm, $t = 180$ minut [autor]	95

Seznam tabulek

Tab. 1 Hodnoty požární odolnosti zděných stěn [81], [93]	52
Tab. 2 Hodnoty požární odolnosti nosných dřevěných konstrukcí [26].....	55
Tab. 3 Požární odolnost dřevěných stropních konstrukcí [14],[83]	56
Tab. 4 Metody zvýšení požární odolnosti stávajících dveří podle [55], [89]	64
Tab. 5 Orientační tloušťka valených kleneb pro vzepětí 1/4 rozpětí (Obr. 35) [8]	69
Tab. 6 Orientační tloušťka valených kleneb pro vzepětí 1/6 rozpětí (Obr. 35) [8]	69
Tab. 7 Požární odolnost nechráněných ocelových sloupů a nosníků [26].....	86
Tab. 8 Minimální osové vzdálenosti výztuže působící v jednom a ve dvou směrech [78]	89
Tab. 9 Teplota železobetonové skořepiny v místě výztuže v závislosti na čase [autor]	92
Tab. 10 Požární odolnost železobetonové lícni skořepiny [autor]	92
Tab. 11 Teplota v místě uložení výztuže [autor]	92
Tab. 12 Charakteristiky základních omítek a maltovin [66]	96
Tab. 13 Teploty v místě uložení výztuže klenby [autor]	96
Tab. 14 Teploty v místě uložení výztuže klenby [autor]	96

Seznam symbolů, zkratek a značek

Značka	Veličina	Jednotka
CCTV	Closed Circuit Television, uzavřený televizní okruh	-
CNC	Computer Numerical Control (počítačem řízený obráběcí stroj)	-
ČR	Česká republika	-
DP1	konstrukční část typu DP1 nezvyšující intenzitu požáru	-
DP2	konstrukční část typu DP2 nezvyšující v požadované době požární odolnosti intenzitu požáru	-
DP3	konstrukční část typu DP3 zvyšující intenzitu požáru	-
E	mezní stav požární odolnosti, celistvost	min
EPS	elektrická požární signalizace	-
EZS	elektrická zabezpečovací signalizace	-
F	tlaková síla	N
FRP	Fiber Reinforced Polymers	-
I	mezní stav požární odolnosti, izolační schopnost	min
MKP	metoda konečných prvků	-
N	normálová složka obloukové síly	N
NFPA	National Fire Protection Association	-
Q	posouvající složka obloukové síly	N
R	mezní stav požární odolnosti, únosnost a stabilita	min
S	oblouková síla	N
SHZ	sprinklerové hasicí zařízení	-
SSHZ	samočinné stabilní hasicí zařízení	-
TA	Temp Analysis	-
TAN	Technical Adice Note	-
UNESCO	United Nations Educational, Scientific and Cultural	-

	Organization	
V	průřezová plocha prvku	m^2
a	součinitel teplotní vodivosti	$m^2.s^{-1}$
A_m	obvod průřezu prvku	m
c_a	měrná tepelná kapacita	$J.kg^{-1}.K^{-1}$
e	hodnota výstřednosti	mm
$h_{net,d}$	návrhová hodnota tepelné pohltivosti na jednotku plochy	$W.m^{-2}$
k_{sh}	opravný součinitel zastínění	-
Θ	teplota	$^{\circ}C$
Θ_d	návrhová teplota materiálu	$^{\circ}C$
$\Theta_{d,cr}$	návrhová hodnota kritické teploty materiálu	$^{\circ}C$
λ_a	tepelná vodivost	$W.m^{-1}.K^{-1}$
ρ	objemová hmotnost	$kg.m^{-3}$
η_{fi}	redukční součinitel účinků zatížení	-
$\gamma_{M,fi}$	dílčí součinitel materiálu	-
μ_0	stupeň využití	-
$\gamma_{M,1}$	dílčí součinitel únosnosti při posuzování stability prutů	-

1. Úvod do problematiky

Ochrana památek a prostředí obklopující památky je veřejným zájmem státu i jeho občanů. V kulturním dědictví je ukryto vědění naší generace o její minulosti. Jen vyspělá společnost dokáže správně ocenit hodnoty, které ji tvoří a jen taková společnost si může dovolit „luxus kultury paměti“. Kulturní památky jsou ohroženy řadou různých vlivů. Patří mezi ně povodně, vandalismus, krádeže. Nejzávažnější ohrožení představují požáry. Oheň v objektu způsobí škody nevratné a nenahraditelné.

Česká republika patří bezesporu mezi státy s bohatým kulturním dědictvím. Svědčí o tom i počet nemovitých kulturních památek, kterých je v současnosti evidováno 40 271. Mezi tyto nemovitosti patří drobné nenápadné objekty, jako jsou např. sochy či morové sloupy na náměstích, ale také nepřehlédnutelné dominanty, jenž jsou symbolem historie národa. V počtu památek se vyspělým Evropským státům vyrovnáme, ale je otázkou, zda s nimi udržíme krok i po stránce jejich ochrany.

Přesné vymezení objektů podléhajících památkové péči, prohlašování kulturních památek na úrovni Ministerstva kultury za účelem vytvoření národního památkového fondu a zavedení povinných zápisů prohlášených kulturních památek do Ústředního seznamu kulturních památek zavádí zákon č. 20/1987 Sb., o státní památkové péči. Úkoly ústředního orgánu státní památkové péče plní odbor památkové péče Ministerstva kultury. Odbornou činnost v oblasti památkové péče vykonává a koordinuje Národní památkový ústav.

Na základě věcného hlediska se památky člení na:

- nemovité,
- movité.

Nemovitými kulturními památkami jsou například hrady a jejich zříceniny, zámky, tvrze, kostely, kláštery, kapličky, stavby lidové architektury a zemědělské usedlosti, městské obytné domy a paláce, radnice, městská opevnění a jejich jednotlivé dochované části, jako jsou hradby a brány, dále staré továrny a jiná technická díla, historické zahrady a parky nebo pozemky s významnými archeologickými nálezy.

Mezi movité kulturní památky patří především díla starého malířství, sochařství a uměleckých řemesel, tvořící soubory vybavení zejména na hradech a zámcích a v církevních stavbách, předměty venkovské hmotné kultury a historické knihovny nebo například strojní zařízení ve starých továrnách, elektrárnách a tak podobně.

Z hlediska stupně ochrany rozeznáváme několik kategorií kulturních památek:

- UNESCO,
- národní kulturní památka,
- kulturní památka,
- nemovitost ležící na území používající památkovou ochranu.

Evidence kulturních památek je zajišťována tzv. Ústředním seznamem kulturních památek České republiky, jehož vedením je pověřena odborná organizace státní památkové péče, tj. ústřední pracoviště Národního památkového ústavu. Ústřední seznam je veřejně přístupný s výjimkou movitých kulturních památek, z důvodů ochrany před jejich odcizením. Zákon o památkové péči ukládá vlastníkově kulturní památky oznamovací povinnost ohledně změny ve vlastnictví a změny využití objektu.

Vlastník nemovitosti zodpovídá za její obnovu, ochranu před odcizením, poškozením či znehodnocením. Danou nemovitost, která podléhá památkové ochraně, je povinen užívat pouze způsobem, který odpovídá jejímu kulturně politickému významu, památkové hodnotě a technickému stavu. Je-li kulturní památka ve státním vlastnictví, je povinností organizace, která kulturní památku spravuje nebo ji užívá, popřípadě ji má ve vlastnictví, a jejího nadřízeného orgánu vytvářet pro plnění uvedených povinností všechny potřebné předpoklady [56]. Především musí provádět práce a opatření, která zajistí dobrý stav památky a její estetický vzhled. Všechny tyto povinnosti provádí vlastník památky na své náklady. Je – li kulturní památka ohrožena nebo poškozena, má vlastník povinnost tuto skutečnost bezodkladně oznámit obecnímu úřadu obce s rozšířenou působností a vyžádat si jeho rozhodnutí o způsobu odstranění závady. Jedná – li se o nemovitou kulturní památku, podává oznámení také na stavební úřad. Řízení podle § 12 zákona o státní památkové péči [56] probíhá podle správního řádu. V posledních letech dochází v oblasti rekonstrukcí a obnov nemovitých kulturních památek k velkému rozmachu. Tento trend je mimo jiné způsoben možností, která je dána vlastníků kulturních památek, žádat o finanční příspěvky na obnovu

svých nemovitostí z rozpočtu obce, kraje, Ministerstva kultury nebo Ministerstva pro místní rozvoj.

Obnova kulturní památky je vymezena § 14 zákona [56] jako údržba, oprava, rekonstrukce, restaurování či jiná úprava kulturní památky nebo jejích prostředí. Údržbou stavby jsou podle § 3 stavebního zákona [58] práce, jimiž se zabezpečuje dobrý stavební stav tak, aby nedocházelo k jejímu znehodnocení a co nejvíce se prodloužila její užitelnost. Opravou věci v obecném vyjádření ve znění § 652 občanského zákoníku [60] rozumíme činnost, kterou se zejména odstraňují vady věci, následky jejího poškození nebo účinky opotřebení. Pojem rekonstrukce a sanace stavební předpisy neznají. V daném případě je vhodné používat pojem stavební úprava, který je definován v § 2 odst. 5 stavebního zákona [58]. Stavební úpravou se rozumí změna již dokončené stavby, při níž nedochází ke změnám půdorysného či výškového ohraničení stavby. Stavební úprava je změna dokončené stavby, za níž je dále považována nástavba a přístavba, kterou se stavba zvyšuje, nebo se zvětšují její půdorysné rozměry. Pojmy rekonstrukce a sanace jsou ve spojení s obnovou památkových objektů často používány, z tohoto důvodu je vhodné uvést jejich význam:

- rekonstrukce = návrat k původnímu stavu,
- sanace = provedení opatření k nápravě škod.

Na základě uvedeného výčtu činností spadajících pod pojem „obnova památek“ lze konstatovat, že se jedná o širokou škálu činností od nepatrných zásahů až po stavební změny, které ovlivňují tvář objektu. Obnova památek se řídí zákonem o státní památkové péči v souvislosti se stavebním zákonem v jednotlivých stupních projektové dokumentace.

V průběhu stavebního řízení se předkládá projekt požárně bezpečnostního řešení stavby na základě požadavků § 41 vyhlášky o požární prevenci [63]. Rozsah požárně bezpečnostního řešení se liší v závislosti na rozsahu a složitosti objektu či stavebních úprav. Vždy musí komplexně hodnotit požární bezpečnost dané stavby.

Zpracování požárně bezpečnostního řešení se týká také objektů, které jsou kulturními památkami nebo se nachází v památkové rezervaci, památkové zóně nebo v ochranném pásmu. Daný objekt musí konstrukčně a dispozičně respektovat požadavky požární bezpečnosti především s ohledem na svoji dispozici, stavební konstrukce a možnosti případné evakuace osob. Je proto potřebné v první řadě navrhnout vhodné využití nejen z kulturního

hlediska, které se považuje za samozřejmé, ale i s ohledem na stabilitu objektu při požáru, bezpečnost osob a možnost účinného zásahu jednotek požární ochrany. Řešení požární bezpečnosti objektu je obdobné jako u každého jiného objektu, s výjimkou omezení změny dispozice objektu. Při řešení požární bezpečnosti zmíněných objektů se v častých případech využívá možnosti zpracování expertní zprávy či expertního posudku, jenž nahrazuje požárně bezpečnostní řešení stavby.

V rámci projektu požárně bezpečnostního řešení kulturní památky musí být respektovány požadavky zejména vyhlášky č. 23/2008 Sb. [63] a české technické normy ČSN 73 0834 [70] v návaznosti na další normy z oblasti požární bezpečnosti staveb. Konkrétně se jedná o požadavky § 26 vyhlášky č. 23/2008 Sb., která stanovuje povinnost stavby památkově chráněné, respektive stavby, které jsou uvedeny na Ústředním seznamu kulturních památek a dále prostory, ve kterých jsou uloženy movité kulturní památky, vybavit:

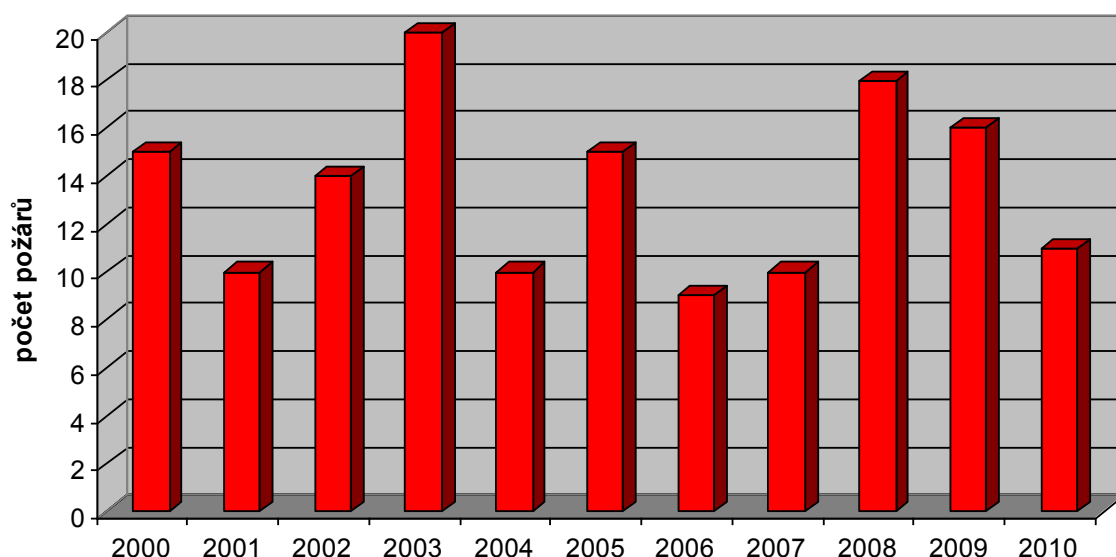
- elektrickou požární signalizací nebo hlásičem požáru použitým v elektrické zabezpečovací signalizaci,
- stabilním hasicím zařízením v jedinečných prostorech nebo v prostorech s jedinečnými sbírkami historických předmětů, dále v jedinečných dřevěných stavbách včetně jejich další ochrany.

Konkrétní požadavky požární bezpečnosti kladené na nemovité kulturní památky a jejich technická řešení, která vycházejí zejména ze zahraničí, jsou představeny v rámci disertační práce.

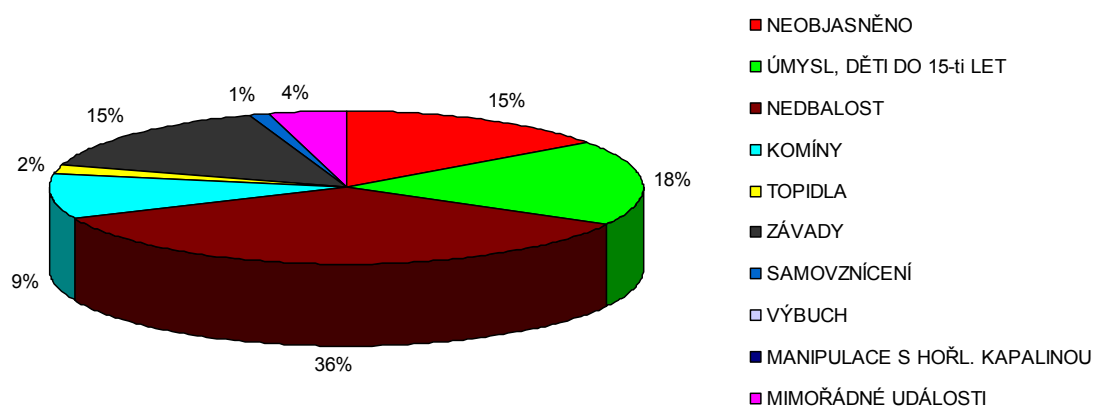
1.1 Současný stav problematiky

Požár byl v minulosti všudy přítomnou hrozbou, která v mnohých případech postihovala nejen jednotlivé objekty, ale i celé vesnice a města. Rychlé šíření požáru bylo usnadněno hořlavými konstrukcemi objektů a minimálními odstupovými vzdálenostmi mezi jednotlivými domy. Rozsah škod směřoval postupně k vývoji různých protipožárních opatření. V podkrovních prostorech byly umístovány nádoby s vodou pro prvotní zásah v případě vzniku požáru. Nosné dřevěné konstrukce byly natírány hovězí krví, která byla jakýmsi prvotním protipožárním nátěrem. Funkci požárního stropu již od dob renesance plní dřevěný trámový strop se záklopem vyplněným hliněnou či popelovou vrstvou, který měl funkci

tepelně izolační. S postupem času se rozsah i škody způsobené požárem na objektech podařilo snížit. Ovšem navzdory vyspělé požární technice a novodobým materiálům a hmotám, které se uplatňují v protipožární ochraně staveb, ohrožují požáry historické objekty i dnes, což dokládá statistika Hasičského záchranného sboru ČR počtem požárů historických objektů v letech 2000 – 2010 (*Graf 1*).



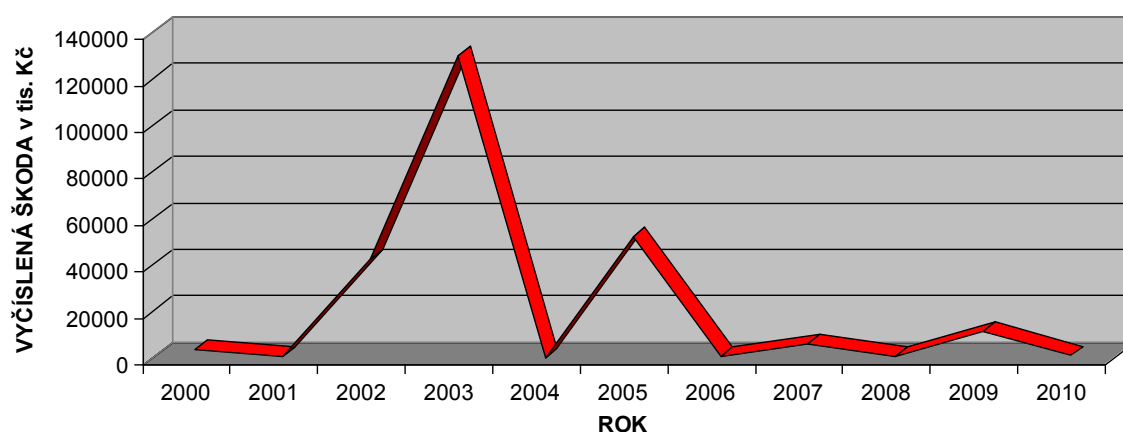
Graf 1 Počet požárů církevních a jiných historických objektů v letech 2000 – 2010 [autor]



Graf 2 Grafické vyjádření příčin požárů historických a církevních objektů v ČR v letech 2000 – 2010 [autor]

Ze statistiky Hasičského záchranného sboru ČR vyplývá (Graf 2), že nejvyšší procento ze všech požárů vzniklých v církevních a historických objektech vzniklo z důvodů neopatrnosti či nedbalosti osob. Zejména při rekonstrukcích kulturních památek je třeba dodržovat zásady požární bezpečnosti při provádění činností se zvýšeným požárním nebezpečím, jakou je například svařování. Druhá nejčastější příčina vzniku požárů těchto objektů nejen v České republice je úmyslné zapálení. Objekty jsou úmyslně zapalovány z důvodů pojistného podvodu či zakrytí stop loupeže, mnohdy se však jedná o pouhý vandalismus.

Odstranění možných příčin požáru v historických objektech je jedním z preventivních opatření, jak zabránit vzniku požáru kulturní památky a ztrátě kulturního dědictví a snížit finanční škody (Graf 3), které tyto požáry ročně přináší.



Graf 3 Grafické vyjádření škod požárů historických a církevních objektů v ČR v letech 2000 – 2010 [autor]

Požární bezpečnost objektů byla řešena i v minulosti. Nejstarším doloženým protipožárním předpisem je řád Berky z Dubé z roku 1546. V 16. století byla stavebními předpisy dána povinnost dodržovat při stavbě domů určité vzdálenosti z důvodu zamezení šíření požáru mezi objekty. Do období 16. století se také datuje zákaz výstavby dřevěných komínů. V roce 1751 vydala císařovna Marie Terezie takzvaný ohňový patent, jehož důsledkem byla stavba zvonice, sloužící k ohlašování požárů ve vsích. Za její vlády a následně za vlády Josefa II. bylo vydáno několik ohňových patentů, které představují poměrně propracovaný komplex norem, upravující povinnosti osob z hlediska prevence i represe v protipožární ochraně.

Z preventivních opatření je to např. zákaz skladování suchého dříví u topeniště nebo povinnost skladovat horký popel pouze pod ohništěm. S hořící loučí byl zakázán vstup do stájí, kde bylo taktéž zakázáno kouřit. Dále byla stanovena povinnost pravidelného čištění komínů. V případě vzniku požáru bylo nutné strhnout střechu, například střechy roubených stavení byly tvořeny krokvy uloženými na konzolách vystupujících ze stavení tak, aby bylo možné střechu snadno shodit na zem. Hospodáři měli povinnost udržovat funkční studny a zásoby vody. Příkladem tohoto opatření jsou vědra s vodou, která sloužila k likvidaci požáru na zámku Telč (Obr. 1). Z preventivních stavebních opatření uvedme např. povinnost provést ochranu dřevěných stropů a to omítaným podhledem. V některých případech byly mezi dřevěnými trámy vyzdívány přímé klenby z cihel. Obdobnou ochranou byly hliněné mazaniny, které se zřizovaly na stropních konstrukcích pod půdou. Pro zvýšení požární odolnosti se do mazaniny zamačkávaly cihelné střepy. Pro novostavby bylo nutné získat povolení k stavbě, nosné konstrukce objektu musely být zděné. Ve století devatenáctém bylo vydáno nařízení oddělovat střechy objektů požární zdí, která musela vystupovat nad rovinu střechy. Chráněny proti požáru byly i dřevěné nosné konstrukce a to nátěry nejčastěji hlinkou nebo hliněnou mazaninou. Dřevěné krovy význačných objektů se impregnovaly organickými materiály, zejména volskou krví. V období II. světové války, v době ohrožení nálety, se krovy objektů povinně natíraly nátěrem Betogen, jehož podstatou je roztok vodního skla.



Obr. 1 Vědra na vodu sloužící k hašení požáru, zámek Telč [38]

Současná požární bezpečnost historických objektů vychází ze stavebního řešení objektu a jeho současného využití. Využití kulturních památek je vázáno zákonem [56], konkrétně §9 a §11 zákona o státní památkové péči. Vlastník kulturní památky je povinen užívat ji pouze způsobem, který odpovídá jejímu kulturnímu významu a technickému stavu.

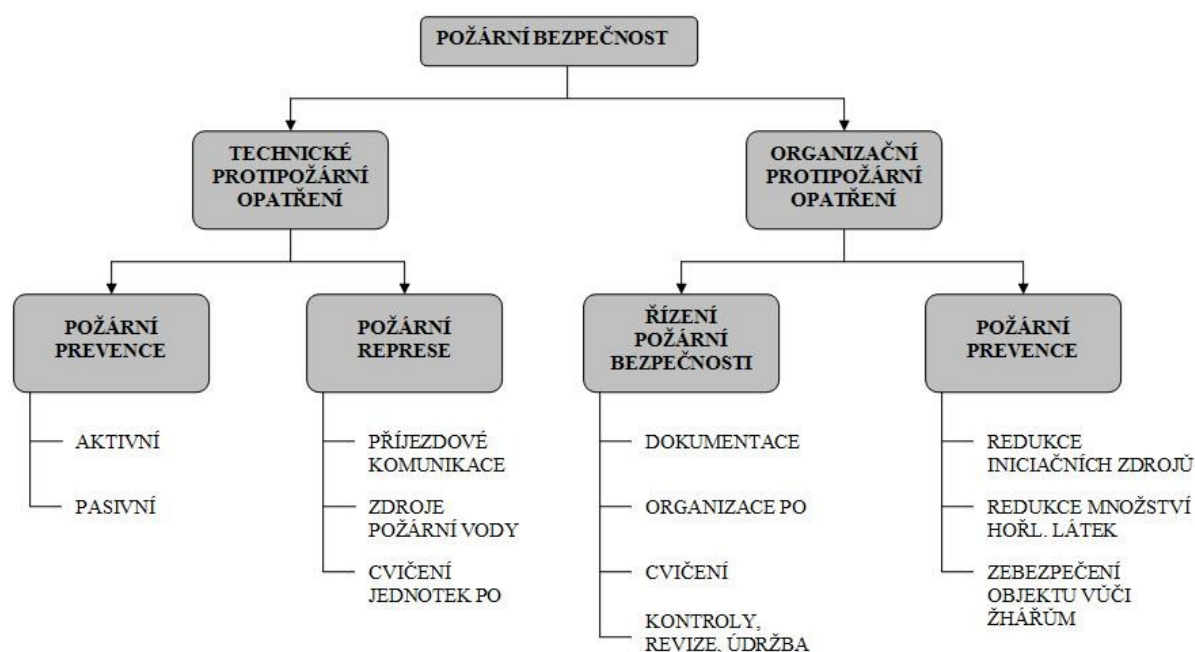
Památky mohou být využívány k tomu účelu, k němuž vznikly nebo pro který byly druhotně upraveny. Přímo využívána může být i kulturní hodnota památky samé – např. zámek s prohlídkovou trasou. Existují však typy staveb, u nichž se nové využití hledá velmi obtížně. Jedná se zejména o kostely, kaple a synagogy v místech, které již neslouží k církevním účelům.

Široké spektrum využití nemovitých kulturních památek souvisí také s širokým spektrem typů objektů kulturních památek. Spadají zde církevní objekty (kostely, chrámy), objekty hradů a zámků i stavby běžné občanské vybavenosti (např. městská jádra). Pro každý typ těchto objektů je nutné navrhnout systém protipožárního zabezpečení zohledňující použitý konstrukční systém, využití, polohu objektu atd. Komplexní ochranu objektu před požárem, tzn. jeho požární bezpečnost lze zajistit kombinací technických a organizačních opatření (Obr. 2).

Organizační opatření zahrnují zejména stanovení podmínek požární bezpečnosti při užívání objektu, pravidelné kontroly objektu, školení zaměstnanců atd. Technická opatření reprezentují pasivní a aktivní prvky požární ochrany. K pasivním prvkům požární ochrany řadíme stavební konstrukce a jejich protipožární úpravy, které jsou schopny po určitou dobu odolávat účinkům požáru a zabránovat tak jeho dalšímu šíření v objektu. K aktivním prvkům požární ochrany řadíme systémy, které v případě vzniku požáru jej včasně detekují, potlačují jeho další rozvoj, případně zpomalují nárůst teploty v ohroženém prostoru. Jedná se zejména o požárně bezpečnostní zařízení.

Značná pozornost ochraně památkových objektů před požáry je věnována i v zahraničí. Například ve Spojených státech amerických je v současnosti platný normativní předpis NFPA 914 Code for Fire Protection of Historic Structures [89], obsahující ucelené informace požární bezpečnosti historických objektů. Dokument definuje základní příčiny požárů historických objektů současně se statistickými daty počtu požárů a výše škod. Na rozdíl od českých projekčních norem, které uvádí zejména technická opatření se NFPA věnuje také organizačním opatřením v oblasti požární prevence v souvislosti s užíváním objektu, případně

konání kulturních akcí. Stěžejní část NFPA 914 [89] uvádí tabulkové hodnoty požární odolnosti stavebních konstrukcí (zděných, dřevěných, železobetonových atd.) a možnosti zvýšení požární odolnosti vybraných stavebních prvků. Obdobný obsah má i další normativní předpis NFPA 909 Code for the Protection of Cultural Ressource Properities – Museum, Libraries, and Places of Worship [90]. Zaměřuje se na archívy a muzejní sklady, zejména na systémy účinné detekce a hašení v prostorách regálů. Na území Velké Británie je tato problematika řešena v normě BS 5454 Recommendations for the Storage and Exhibition of Archival Documents [91].



Obr. 2 Schéma zajištění požární bezpečnosti objektu [46]

Ve Skotsku se na prohlašování objektů kulturní památkou a současně na jejich ochraně podílí společnost Historic Scotland. Pod její záštitou jsou vydávány tzv. Technical Advice Note (TAN), publikace určené pro majitele a uživatele objektů. Tyto monografie se mimo jiné věnují požární bezpečnosti památkově chráněných objektů. Konkrétně TAN 11 Fire protection Measures In Scottish Historic Buildings je věnován požárnímu riziku historických objektů a návrhu vhodné technologie na ochranu památek před požáry, TAN 14 The Installation of Sprinkler Sytems in Historic Buildings obsahuje souhrn pravidel pro návrh

a instalaci sprinklerových systémů v historických budovách, TAN 22 Fire risk Management in Heritage Buildings se věnuje analýze rizika historických objektů, TAN 28 Fire Safety Management in Heritage Buildings představuje způsob, jak zabudovat prvky požární ochrany do interiéru historických objektů. V současné době byly technické předpisy nahrazeny komplexní publikací Conversion of Traditional Buildings 1 a 2 část [44], [45]. V knize jsou stanovena základní technická a také organizační opatření zvyšující požární bezpečnost při užívání historických objektů.

V devadesátých letech minulého století proběhlo v zahraničí několik mezinárodních konferencí s hlavní tematikou ochrany kulturního dědictví před požáry. Konference však nepřinesly vzájemnou podporu a spolupráci na výzkumu v oblasti ochrany historických objektů před požáry. V roce 2001 byl schválen vznik evropské pracovní skupiny (European Network) COST 17. Hlavním zaměřením akce byla zejména mezinárodní spolupráce na výzkumu a vývoji v oblastech:

- zranitelnosti historických objektů požárem,
- metod stanovení rizika,
- ochrany konstrukcí a mobiliáře,
- prevence požárů a jejich šíření,
- systémů detekce a potlačení požáru,
- školení a výcviku,
- pojištění historických objektů.

Závěrečná zpráva evropské pracovní skupiny COST 17 [49] představuje souhrn příspěvků publikovaných v průběhu let 2001 – 2007 v rámci mezinárodních konferencí, které uvádí technické novinky zejména v oblasti požárně bezpečnostních zařízení. V rámci pracovní skupiny byly provedeny testy stabilních hasicích zařízení se zaměřením na jejich účinnost a minimální zásah na interiéru objektů. Dále byla vydána příručka mapující systémy detekce požáru v interiérech objektů a detekce požárů na volném prostranství. Vybrané poznatky výše uvedených publikací jsou uvedeny v disertační práci v kapitolách č 3 a 4.

Základní technické požadavky na řešení rekonstrukcí památkově chráněných objektů na území České republiky jsou stanoveny ve vyhlášce č. 23/2008 Sb. [62] a v projektové

normě ČSN 73 0834 [71]. Komplexní dokument, který by obsahoval ucelený systematický přehled řešení požární bezpečnosti při rekonstrukcích památkově chráněných objektů s příklady možných technických řešení s ohledem na unikátnost interiérů a stavebních konstrukcí v ČR dosud nebyl vydán. V určitých oblastech, např. požárně bezpečnostních zařízení, lze navázat na technická řešení, která jsou uvedena v zahraničních normativních předpisech. V oblasti hodnocení požární odolnosti stavebních konstrukcí historických staveb lze vycházet z hodnot, které jsou uvedeny v projekční normě ČSN 73 0834 [71], zejména pak ve změně č. 1 uvedené normy [72]. V normě [72] ani jiné odborné publikaci u nás ani v zahraničí nebyla doposud řešena problematika požární odolnosti dodatečně vyztužených kleneb, tj. častého sanačního řešení stropních a střešních konstrukcí.

2. Cíle a metodika disertační práce

Disertační práce se zaměřuje na řešení požární bezpečnosti rekonstrukcí historických objektů se zdůrazněním veškerých omezení, která se v oblasti požární ochrany těchto objektů týkají.

Cílem disertační práce je návrh metodického postupu posouzení požární odolnosti kleneb sanovaných podle vytipovaných metod a návrh vhodného řešení společně s aplikacemi navržené metodiky. V průběhu řešení hlavního cíle budou provedeny následující dílčí etapy:

- 1) sestavení přehledu specifik řešení požární bezpečnosti památkově chráněných staveb a představení současných technických řešení k zabezpečení památkově chráněných objektů, vhodnost použití jednotlivých systémů,
- 2) analýza současných metod hodnocení požární odolnosti stávajících stavebních konstrukcí,
- 3) rozbor a hodnocení metod rekonstrukcí a sanací kleneb,
- 4) návrh a sestavení výpočetního programu pro stanovení požární odolnosti dodatečně vyztužené klenby.

Při sestavení uceleného přehledu řešení požární bezpečnosti památkově chráněných objektů z hlediska požadavků stavebního zákona a projekčních norem požární bezpečnosti staveb budou uvedena specifika, týkající se řešených staveb, zejména:

- omezená možnost změny dispozice objektu v souvislosti s jeho rozdělením na jednotlivé požární úseky a řešení únikových cest,
- zařízení pro protipožární zásah, omezené zdroje požární vody a nevyhovující přístupové komunikace,
- využití vhodného systému požárně bezpečnostních zařízení s ohledem na charakteristiku objektu a jeho využití.

Druhá část disertační práce bude zaměřena na stanovení požární odolnosti stávajících stavebních konstrukcí památkově chráněných objektů. Metody hodnocení požární odolnosti historických konstrukcí vychází z českých technických norem. V rámci disertační práce je navržena nová metodika hodnocení požární odolnosti dodatečně vyztužených kleneb. V disertační práci jsou uvedeny konkrétní aplikace navržené metodiky. Metodika bude současně zpracována a konkrétně prezentována také ve vyjímatelné příloze práce.

Disertační práce vychází z požadavků požární bezpečnosti staveb, které jsou uplatňovány na území České republiky v rámci projektového řešení rekonstrukcí a sanací památkově chráněných objektů. Jako metodu zpracování jsem zvolila členění práce od všeobecných poznatků týkající se problematiky související s požární bezpečností památkových objektů se zaměřením zejména na požárně bezpečnostní zařízení, přes stávající metody hodnocení požární odolnosti stavebních konstrukcí historických objektů k návrhu nové metodiky hodnocení požární odolnosti dodatečně vyztužených kleneb. U jednotlivých systémů požárně bezpečnostních zařízení objektu jsou uvedeny příklady vybraných systémů společně s analýzou technických omezení pro instalaci zařízení v interiérech historických objektů.

V rámci disertační práce byly zpracovány metodiky hodnocení požární odolnosti stávajících stavebních konstrukcí památkově chráněných objektů od obecných zásad hodnocení požární odolnosti stavebních konstrukcí k posouzení požární odolnosti konkrétního druhu stavební konstrukce.

3. Sestavení přehledu specifik řešení požární bezpečnosti památkově chráněných staveb

V úvodní části práce již bylo uvedeno, že zajištění bezpečnostních požadavků při návrhu, provádění a užívání stavby je stanoveno stavebním zákonem [58]. Pro projektování stavebních změn nemovitých kulturních památek byly od roku 1977 dány požadavky technickou normou ČSN 73 0849 [73], která byla v plném rozsahu roku 1987 nahrazena ČSN 73 0834 [71]. Požadavky projekční normy ČSN 73 0834 [71] se vztahují zejména pro objekty, které jsou projektovány před rokem 1977, respektive před účinností kodexu norem požární bezpečnosti staveb. Příloha normy se vztahuje na památkově chráněné objekty. V případě památkových zón a rezervací se požadavky vztahují pouze na objekty, které jsou zapsány v ústředním seznamu kulturních památek ČR.

Při rekonstrukcích památkově chráněných objektů musí tyto objekty dispozičně a konstrukčně splňovat nároky na navrhované využití. Při návrhu změny využití objektu je nutné zohlednit požadavky požární bezpečnosti staveb zejména z hlediska požární odolnosti stavebních konstrukcí a bezpečnosti osob a zhodnotit, zda je možné provoz v objektu umístit bez výrazných stavebních zásahů a změny vzhledu objektu. Současně platná norma pro změny staveb nedává žádná omezení z hlediska užívání památkově chráněných objektů. V čl. 35 dřívější projekční normy pro změny staveb [70], která pozbyla platnosti v roce 1995, byly definovány prostory, které nesmí být v nemovitých kulturních památkách umístěny, např. prodejny a sklady barev a laků, aranžovny a dílny dekorací, pokud provozně nesouvisí s hlavním účelem objektu atd. Tato omezení již v současně platném projekčním předpisu uvedena nejsou. V rámci řešení požární bezpečnosti rekonstrukcí památkově chráněných objektů musí být, stejně jako u rekonstrukcí ostatních objektů, dodrženy základní požadavky:

- bezpečné evakuace osob, zvířat a majetku z hořící nebo požárem ohrožené stavby,
- zachování stability a nosnosti konstrukcí po stanovenou dobu,
- rozdělení stavby do požárních úseků a zabránění rozšíření požáru a jeho zplodin hoření mezi těmito požárními úseky, včetně zabránění rozšíření požáru na sousední objekty,

- na použité stavební hmoty z hlediska jejich reakce na oheň, odkapávání v podmínkách požáru nebo požadavky na minimální rychlost šíření plamene po jejich povrchu,
- pro zabezpečení stavby požární vodou pro hašení a věcnými prostředky požární ochrany,
- pro zabezpečení zásahových cest, příjezdových komunikací a nástupních ploch pro mobilní požární techniku.

Zabránění šíření požáru v objektu za pomoci stavebních konstrukcí objektu, respektive rozdělení objektu do požárních úseků, je principem tzv. pasivní protipožární ochrany staveb. Pod pojmem požární úsek rozumíme část objektu, která je oddělena požárně dělicími konstrukcemi, respektive stavebními konstrukcemi, které jsou po určitou stanovenou dobu schopny odolávat účinkům požáru. Toto opatření však v mnohých případech znamená zásah do interiéru budovy, což v případě památkově chráněných objektů nelze vždy realizovat [34].

Památkově chráněné objekty nebo prostory nesmí tvořit jeden požární úsek spolu s objekty nebo prostory bez památkové ochrany, pokud s nimi provozně nesouvisejí, případně se nejedná o prostory bez požárního rizika [70]. Jako samostatný požární úsek je nutné vyčlenit chráněné únikové cesty a provozně důležité prostory z hlediska požárního zabezpečení objektu (např. strojovny samočinného stabilního hasicího zařízení). Velkou pozornost je vhodné věnovat rozsáhlým podkrovním prostorům, které umožňují volné šíření požáru, a tyto prostory členit požárními stěnami do menších částí. V případě, kdy objekt nelze rozdělit do požárních úseků, musí být zpracována analýza požárního zajištění a objekt musí být vybaven požárně bezpečnostním zařízením.

Při členění objektu do požárních úseků je vhodné využít zejména stávající stavební konstrukce, které jsou schopny odolávat účinkům požáru. Stávající zděné stěny památkově chráněných objektů vykazují požární odolnost, stejně tak dřevěné trámové stropy se záklopem. Lze je tedy s minimální úpravou využít jako požárně dělicí konstrukce objektu.

Kvantifikace požárního rizika a následně určení stupně požární bezpečnosti navržených požárních úseků vychází z kmenové normy požární bezpečnosti staveb ČSN 73 0802 [67]. Budou – li na rekonstrukci objektu aplikovány požadavky normy ČSN 73 0834 [71], lze ve vybraných případech snížit klasifikaci požárního rizika až o dva stupně požární bezpečnosti. Na základě daného stupně požární bezpečnosti jsou následně stanoveny

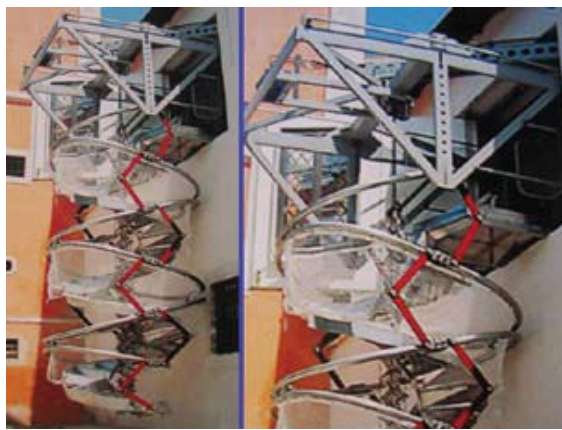
požadavky pro jednotlivé stavební konstrukce požárního úseku, respektive jedná se o klasifikační vyjádření schopnosti stavebních konstrukcí požárního úseku jako celku čelit požáru z hlediska omezení rozšíření požáru a zajištění stability objektu.

Při rekonstrukcích památkově chráněných objektů je nutné posoudit evakuaci osob. Charakter a provedení únikových cest památkově chráněných objektů nelze hodnotit podle současných požadavků požární bezpečnosti staveb. Je nutno počítat s úzkými schodišti v objektech věží a naopak s rozsáhlými komunikačními prostory, které ovšem nejsou požárně odděleny od sousedních prostor a hrozí v nich zakouření. Řešení chráněných únikových cest v památkově chráněných objektech je omezeno vzhledem k nutnosti zajištění větrání prostor chráněných únikových cest. Pro instalaci zejména přetlakového požárního větrání chráněných únikových cest je nutné umístit v prostorách objektu ventilátory, otvory pro odvod vzduchu atd. Pokud není možné řešit evakuaci osob za pomoci chráněných únikových cest, lze podle požadavků [70] využít částečně chráněné únikové cesty. Částečně chráněná úniková cesta je komunikace, která prochází požárním úsekem bez požárního rizika nebo sousedním požárním úsekem, případně částí posuzovaného požárního úseku, která je bez požárního rizika. Částečně chráněná úniková cesta nepředstavuje výrazný zásah do dispozice objektu a jeho stavebních konstrukcí, lze ji však využít pouze pro evakuaci osob z nadzemních podlaží staveb s požární výškou do 22,5 m nebo z prvního podzemního podlaží. Pokud je v objektu instalován systém samočinného stabilního hasicího zařízení není použití tohoto typu únikové cesty výškově omezeno. Částečně chráněnou únikovou cestu nelze využít pro evakuaci osob v ubytovacích zařízeních a lůžkových oddělení nemocnic. Při navrhování částečně chráněné únikové cesty musí být dodržena mezní doba evakuace, která vychází z délky únikové cesty, a mezní počet osob v případě jediné částečně chráněné únikové cesty.

Dveře na únikové cestě musí odpovídat požadavkům minimální šířky únikové cesty podle počtu osob a využití prostoru. Pokud jsou dveře předmětem památkové ochrany, lze je zachovat v případě, kdy z prostoru nebude evakuováno více než 200 osob. Jejich podchodná výška může být snížena na 1 700 mm a šířka na 600 mm.

Únikové cesty při rekonstrukcích památkově chráněných objektů většinou vyhovují požadavkům kodexu norem požární bezpečnosti v případech, kdy je vhodně zvoleno využití objektu. Pokud je navrženo prostory využívat jako lůžkové zdravotnické zařízení, shromažďovací prostory, případně ubytovací zařízení je nutné počítat se změnami dispozice

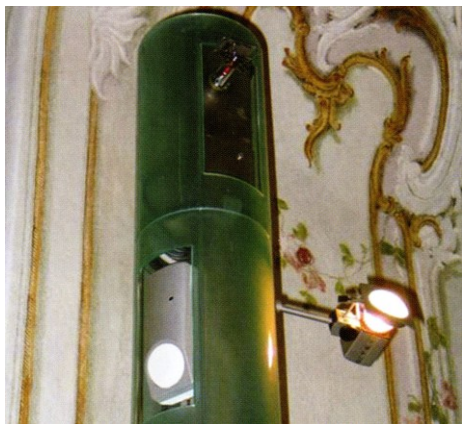
a zásahem do vzhledu objektu z důvodu zajištění bezpečného úniku osob. Pro zajištění dostatečné kapacity únikových cest jsou navrhovány vnější komunikace, schodiště a evakuační výtahy umístěné na obvodu objektu. Tyto komunikace mohou vyhovovat kritériím chráněné únikové cesty typu B. V Itálii firma Borini & Prono Costruzioni s.p.a. využila při rekonstrukcích památkově chráněných objektů výsuvné točité požární schodiště. Schodiště je ukryté v objektu, v případě požáru se točité schodiště vysune pomocí elektropohonu (Obr. 3). V dostupných zdrojích nebyla uvedena informace ohledně doby, za kterou se schodiště uvede do provozuschopného stavu.



Obr. 3 Výsuvné požární schodiště, Chiesa di Santa Chiara. Sulmona [48]

Pokud šířka únikové cesty nevyhovuje kapacitě osob vyskytujících se v objektu a nelze provést dispoziční změny, je možné zavést organizační opatření ve smyslu omezení počtu osob v objektu (např. prohlídkové trasy, vyhlídkové věže).

Z důvodu snadné orientace osob při evakuaci je nutné únikové cesty označit bezpečnostním značením. Chráněné únikové cesty musí být dále vybaveny nouzovým osvětlením. V objektech, ve kterých je užívána kulturní hodnota památky, tedy objekty s prohlídkovou trasou, lze při značení únikových cest uplatnit dílčí specifika. Předpokládá se, že v objektu se pohybuje omezený počet osob společně s průvodcem, znalým daného prostředí. V takovémto případě může být bezpečnostní značení únikových cest provedeno prozatímním stojanem s únikovým piktogramem (Obr. 4, Obr. 6). V případě objektů, které jsou celoročně využívány, je toto řešení nedostačující.



Obr. 4 „Bezpečnostní totem“ - sloup zahrnující prvky požární ochrany [49]

Únikové piktogramy musí vyhovovat požadavkům nařízení vlády č. 11/2002 Sb. [65] a ČSN ISO 3864 [86], ovšem v případě památkově chráněných objektů musí co nejméně zasahovat do vzhledu interiéru. V současné době již existují technická řešení, která vyhovují všem požadovaným kritériím (Obr. 5). V zahraničí se využívá tzv. bezpečnostní totem (Obr. 4), sloup, ve kterém je integrován systém nouzového osvětlení, bezpečnostní značení, nouzové sdělovací zařízení, případně i hlásič elektrické požární signalizace. Vlastní sloup nezasahuje do stavebních konstrukcí objektu a je možné jej kdykoli odstranit.



*Obr. 5 Bezpečnostní značení únikových cest
Pražský hrad [foto Ing. Rudolf Kaiser]*



*Obr. 6 Bezpečnostní značení únikových cest hrad Bouzov
[foto autor]*

3.1 Analýza zdolávání požárů v památkově chráněných objektech

Zásahy při požárech památkově chráněných objektů mají určitá specifika. Hořlavé stavební konstrukce, nevyhovující únikové cesty, malé odstupové vzdálenosti a nestandardní přístupové komunikace k objektům neumožňují efektivně nasadit mobilní požární techniku. V historických objektech se obvykle nacházejí cenné movité kulturní památky, které je v případě vzniku požáru nutné evakuovat. To vše klade mimořádné nároky na zasahující jednotky požární ochrany.

Při zásahu v objektech památkově chráněných je nutno počítat zejména s následujícími komplikacemi:

- objekt není členěn do požárních úseků,
- únikové cesty jsou nevyhovující,
- stavební konstrukce nevykazují požární odolnost, hrozí ztráta stability objektu,
- v dutinách stavebních konstrukcí hrozí skryté šíření požáru,
- historicky cenný mobiliář objektů, který je nutno při zásahu evakuovat,
- nevyhovující přístupové komunikace, objekty jsou často umístěny na špatně přístupných místech,
- rozsáhlé členité objekty omezují dosah radiové sítě, znesnadňují tak komunikaci na místě zásahu,
- poškození původních stavebních konstrukcí, výmalby či mobiliáře při použití vody jako hasiva,
- nedostatek zdrojů požární vody.

V případech, kde dochází k rekonstrukci památkově chráněného objektu je povinností investora zajistit podmínky pro zdolávání požáru, respektive zhodnotit přístupové komunikace, nástupní plochy, zásahové cesty a zdroje požární vody podle požadavků kodexu norem požární bezpečnosti. V objektech, kde nedochází k rekonstrukci, zejména jedná – li se o národní kulturní památky, je nutné zhodnotit veškeré parametry a navrhnout vhodná a přijatelná opatření zajišťující požární zásah. Je nutné zpracovat dokumentaci zdolávání požáru uvádějící veškerá nebezpečí. Důležité je také provádět pravidelná taktická cvičení, která zmapují taktické a technické podmínky pro požární zásah, jako například příjezd

a ustavení mobilní požární techniky v těchto objektech a prověří dostatečnost zdrojů požární vody.

Jedním z důležitých bodů dokumentace zdolávání požáru je specifikace vhodné mobilní techniky pro zásah s ohledem na dimenze příjezdových komunikací. Zejména k hradům a zámkům je v mnoha případech příjezd ztížen (Obr. 7, Obr. 8). Komunikace mohou být nerovné, úzké a někdy mohou vést i přes mosty s nízkou nosností. Volba techniky proto závisí na takticko-technických parametrech zásahových automobilů. Požadavkem jsou malé rozměry, nízká hmotnost, avšak velká zásoba hasiva, což není reálné.

Možnosti použití hasebních látek v historických budovách jsou oproti požárům v jiných objektech omezeny. Je nutno co nejvíce vyloučit znehodnocení historicky cenných předmětů (viz. kapitola 3.2). Prostory, kde nelze využít pro zásah vodu je nutno specifikovat v dokumentaci zdolávání požáru, dále je nutné navrhnout náhradní řešení, např. použití vysokotlaké vodní mlhy.

Dostatečné množství vody pro hasební zásah je možné zajistit například vybudováním skryté požární nádrže v areálu objektu, popřípadě vybudování nezavodněného potrubí (tzv. suchovodu), které zajistí dopravu vody ze vzdálenějšího zdroje požární vody. V místech, kde je to možné s ohledem na dostatečný tlak vody je vhodné vybudovat nadzemní hydrant. Tato opatření by měla být realizována i za předpokladu, kdy objekt neprochází rekonstrukcí.



*Obr. 7 Vjezd na 2. nádvoří zámku Český Krumlov
[foto autor]*



*Obr. 8 Taktické cvičení požáru objektu mincovny,
zámek Český Krumlov [foto autor]*

Vnitřní hadicové systémy nejsou v případě památkově chráněných objektů běžné, zajištěny jsou v případě, kdy objekt prochází rekonstrukcí. S nezavodněným požárním potrubím, tzv. suchovodem, se můžeme setkat u výškových objektů veží apod. Potrubí bývá napojeno na posilovací čerpadlo.

Jako příklad zabezpečení historického objektu požární vodou lze uvést hrad v Bečově nad Teplou. V bývalém domku zahradního, který se nachází v podhradí, byla vybudována požární nádrž o objemu 40 kubíků. Objekt je přístupný pro mobilní techniku, která je schopna nádrž doplnit požadovaným množstvím vody. Z místa požární nádrže vedou rozvody a přípojky na hydranty po celém zámeckém a hradním areálu, voda je potrubní sítí dopravována za pomoci dvou čerpadel, pro která je zajištěna nepřetržitá dodávka elektrické energie. K nejvyššímu místu hradní věže překonávají čerpadla převýšení zhruba padesát metrů.

Po požáru hradní sýpky hradu Pernštejn byl na základě požadavku Hasičského záchranného sboru v areálu hradu zřízen suchovod, který umožňuje zásobovat vodou mobilní techniku z hydrantů umístěných ve třech armaturních šachtách na nádvoří hradu. Zdrojem vody je nádrž o objemu 140 m³, která byla vybudována ve skále v těsné blízkosti objektu. V nádrži jsou umístěna 3 ponorná čerpadla, zajišťující požadovanou dodávku vody 6 l.s⁻¹. Pro čerpadla je zajištěn náhradní zdroj elektrické energie.

Progresivní přístup související s možností poskytnutí informací pro zásah požárních jednotek je uplatněn ve Skotsku. V roce 1999 vznikla ve Skotsku elektronická databáze historických objektů The Scottish Historic Buildings National Fire Database (Obr. 11), která slouží k poskytnutí základních informací hasičským záchranným sborům při zdolávání požárů v těchto objektech. V současné době jsou v databázi uloženy informace o 2 417 objektech. V první fázi byly do databáze uloženy informace o objektech s nejvyšším stupněm památkové ochrany.

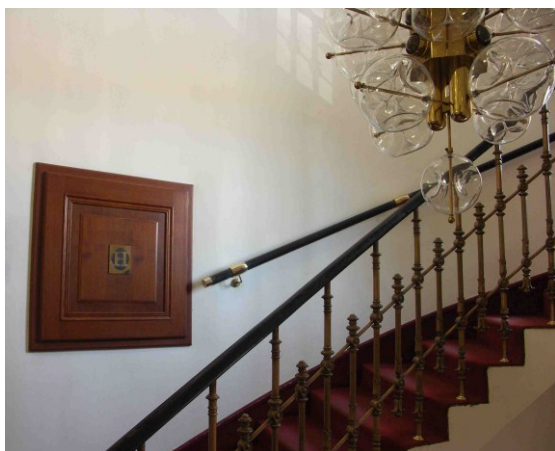
Ke každému objektu jsou uvedeny tyto základní informace:

- adresa, souřadnice GPS, využití objektu,
- počet osob vyskytujících se v objektu v jednotlivých denních dobách,
- popis objektu z hlediska konstrukčního řešení,
- zdroje požární vody,
- příjezdové komunikace, nástupní plochy,

- riziko skrytého šíření požáru, dutiny ve stavebních konstrukcích, prostory umožňující volné šíření požáru,
- technické zařízení objektu, požárně bezpečnostní zařízení objektu,
- prostory objektu, které je nutno prioritně chránit, prostory s cennou výmalbou, případně podhledy,
- fotografická dokumentace objektu,
- mapy, půdorysy objektu.

V databázi jsou uvedeny veškeré informace, které jsou důležité pro minimalizaci škod vzniklých požárem, ale také případně nevhodným zásahem hasičských jednotek. Databáze má jednotný vizuální styl a poskytuje zasahujícím jednotkám požární ochrany komplexní informace o objektu. V České republice obdobná databáze schází. Podle požadavků zákona o požární ochraně [64] a navazující vyhlášky o požární prevenci [63] je vlastník objektu povinen zpracovávat tzv. dokumentaci zdolávání požáru. Tato povinnost se nevztahuje na vlastníky všech památkově chráněných objektů. Na rozdíl od databáze The Scottish Historic Buildings National Fire Database, kterou zpracovává společnost Historic Scotland ve spolupráci s Hasičským záchranným sborem, je dokumentace zdolávání požáru zpracovávána osobou odborně způsobilou (podle §11 zákona o požární ochraně [64]). Vzhledem k charakteru památkově chráněných objektů je vhodné, aby autor při zpracování dokumentace zdolávání požáru spolupracoval s vlastníkem objektu, s Národním památkovým ústavem a místě příslušným Hasičským záchranným sborem kraje. Dokumentace zdolávání požáru doporučuji zpracovat zejména v případech, kdy:

- povinnost vyplývá ze zákona o požární ochraně [64] a navazující vyhlášky o požární prevenci [63],
- k objektu nejsou zajištěny přístupové komunikace,
- není zajištěno dostatečné množství hasební látky,
- se v objektu nachází cenný mobiliář, který je nutné evakuovat (s ohledem na ochranu proti krádežím není vhodné přesně specifikovat cenné předměty),
- je objekt zabezpečen elektrickou požární signalizací nebo systémem samočinného stabilního hasicího zařízení.



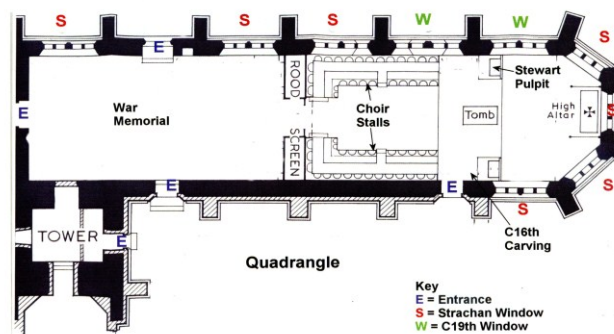
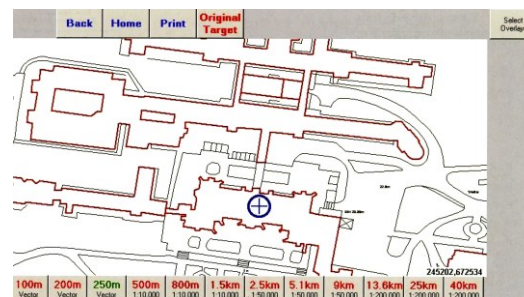
Obr. 9 Nástěnný hadicový systém v interiéru Národního divadla [foto Ing. Rudolf Kaiser]



Obr. 10 Nástěnný hadicový systém a tlačítkový hlásič požáru v interiéru zámku v Českém Krumlově [foto autor]

Památkově chráněné objekty musí být vybaveny prostředky pro prvotní protipožární zásah. Přenosné hasicí přístroje a nástěnné hadicové systémy (Obr. 9, Obr. 10) slouží zejména personálu objektu k likvidaci požáru v jeho počáteční fázi. Prostředky musí být umístěny na viditelném místě, musí být řádně označeny a musí k nim být zajištěn volný přístup. Při výběru typu přenosných hasicích přístrojů je důležité dbát na volbu hasební látky vzhledem k umístěným cenným předmětům v interiéru objektu. V případě nástěnných hadicových systémů lze zvolit nástěnný hydrant pracující s vysokotlakou vodní mlhou, která představuje šetrný zásah vodou v případě likvidace požáru (viz. kapitola 3.2). V tomto případě je mlha rozptylována do prostoru požáru ruční hasicí pistolí. Proti běžným nástěnným hadicovým systémům, které pracují s kompaktním proudem vody, je spotřeba vody výrazně nižší. Pro systémy se využívají tvarově stálé hadice o délce až 60 m, jejich výhodou je snadná ovladatelnost. Nevýhodou tohoto zařízení je vyšší cena.

Historic Buildings Fire Action Plan	
Premises Name	Braemar Castle
Map Ref	NO1560492374
Address	0.5ml NE of Braemar Off A93
Building Use	Mixed Use: Private residence Tourist attraction Weddings
Life Risk	Normal Residential risk: Open to public daily April-Oct, 10-6 (closed Fridays except Jul & Aug)
Plan Available	<input checked="" type="checkbox"/> .\Grampian Photos\NO1560492374.jp © Grampian Fire Brigade
Building Salvage Priorities	This is a Category A listed building, so the preservation of the entire fabric is highly desirable.
Operational Considerations	Normal fire-fighting operations for this type of property: Stone vaulted GF Spiral stair with timber wall panelling.
Architectural Summary	Masonry. 5-storeys. L-plan with round stair tower. Varying sized openings. Slate roof, corner turrets. Enclosed by star-shaped wall.
Initial Water Supplies River Dee to NE	
Approach	1/2 mile NE of Braemar, follow driveway to castle. Good vehicular access.
Access Information	Door to rear leads into service corridor. Doors to front leads into courtyard.
Approach Restrictions	Few openings to GF.
Fixed Firefighting/Detection	Extinguishers
Services	Electricity: main switch in corridor in gamekeepers' quarters in the rear ground floor addition. Private water supply no longer reaches beyond the ground floor. Stop-cock in grounds at rear of castle next to dry stone wall.



Obr. 11 Příklad operační karty z databáze The Scottish Historic Buildings National Fire Database [49]

3.2 Požárně bezpečnostní zařízení v památkově chráněných objektech

Povinnost vybavení stavby památkově chráněného objektu elektrickou požární signalizací nebo samočinným stabilním hasicím zařízením, v případě jedinečných prostor nebo prostor s jedinečnými sbírkami, vyplývá z požadavku § 26 vyhlášky č. 23/2008 Sb. [62]. Při změně stavby, tedy při rekonstrukci objektu, která se z projekčního hlediska požární bezpečnosti posuzuje podle ČSN 73 0834 [71], je nutné v prostoru památkově chráněného objektu instalovat elektrickou požární signalizaci. Znění požadavku v praxi znamená, že v souvislosti s udržovacími a renovačními pracemi, které budou posuzovány v souladu s ČSN 73 0834 [71], jako např. výměna oken nebo podlahy, bude v objektu instalován systém elektrické požární signalizace. Požadavky § 26 vyhlášky [62] se vztahují také na objekty, které jsou nově prohlášeny za památkově chráněné, případně pro objekty, v nichž jsou umístěny movité kulturní památky.

Objekty, které nejsou uvedeny na Ústředním seznamu kulturních památek, se nepovažují za památkově chráněné pro potřeby řešení požární ochrany podle ČSN 73 0834 přílohy B [71]. U některých objektů v zájmu památkové péče není nutné aplikovat pravidla §26 vyhlášky 23/2008 Sb. a při posouzení požární bezpečnosti objektu postupovat podle požadavků přílohy B ČSN 73 0834 [71], pouze v případě kdy nejsou uvedeny na seznamu památek. Pojem „jedinečný“, který se uvádí v §26 vyhlášky č. 23/2008 Sb. má vystihnout odlišnost mezi prostory ve stavbách památkově chráněných, jelikož ne každý prostor je jedinečný. O jedinečnosti rozhoduje místně příslušný orgán památkové péče.

Vyhláška [62] umožňuje instalovat místo elektrické požární signalizace hlásič požáru do systému elektrické zabezpečovací signalizace (dále jen EZS). Vyhodnocovací zařízení systému EZS nemusí mít stálou službu ani dálkový přenos informací, což je v případě elektrické požární signalizace nutné. Při výběru vhodného a účinného požárně bezpečnostního zařízení je nutno postupovat specificky pro každý interiér. Nelze vytvořit systém požárně bezpečnostních zařízení vhodný pro interiéry hradů a další systém vhodný např. pro muzejní sklady. Vždy je nutné dodržet požadavek minimálního zásahu do vzhledu interiéru budovy a minimálního statického zatížení konstrukce daného objektu.

Při instalaci **elektrické požární signalizace (EPS)** je nutné skloubit na jedné straně požadavky architektů a památkářů, na druhé straně rychlou a včasnou detekci požáru. Součástí tohoto systému, který detekuje vzniklý požár, je tzv. hlásič požáru.

V interiérech památkově chráněných objektů jsou využívány následující typy hlásičů:

- kouřové detektory,
- teplotní detektory,
- hlásiče plamene.

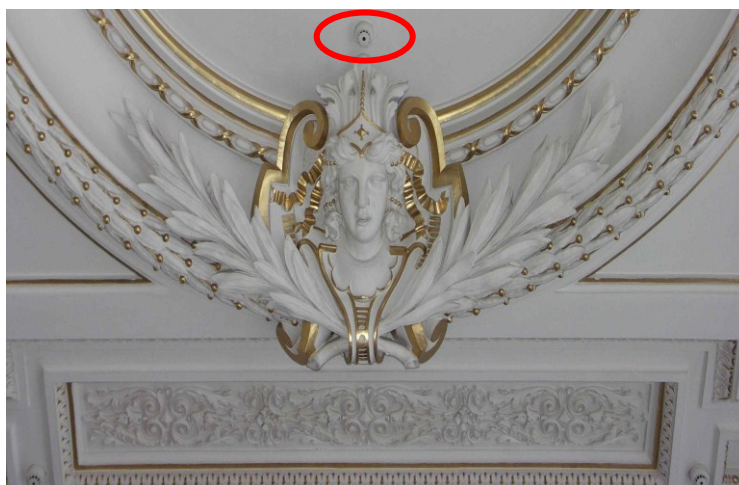
V současné době nalezneme několik používaných řešení problematiky instalace EPS vhodné pro uplatnění v historických objektech:

- netradiční řešení s bodovým hlásičem kouře – zapuštěná montáž,
- bezdrátový systém EPS,
- integrovaný lineární hlásič kouře,
- nasávací kouřový hlásič,
- systém videodetekce,
- tlačítkové hlásiče požáru – zapuštěná montáž.

Zapuštěná montáž bodového hlásiče EPS se provádí vytvořením nevelkého otvoru do stropu. Z hlediska šíření kouře je však vhodnější, aby otvor byl větší než patice hlásiče, což může představovat ne malý zásah do interiéru. Možné je rovněž řešení překrytí otvoru mřížkou stejného barevného provedení jako je úprava stropu. V tomto případě je hlásič takřka neviditelný, je však otázkou, jaký vliv má mřížka na spolehlivou reakci hlásiče.

Bodový hlásič lze umístit skrytě do ornamentu stropu (Obr. 12). V tomto případě je možno využít bezdrátového (radiového) systému EPS. Vyhneme se tak problematickému ukrytí kabeláže. Sjednocením barvy bodového hlásiče s podkladem bude hlásič v interiéru téměř neviditelný. *Bezdrátový systém* lze kombinovat s klasickým systémem. Pro bezdrátový systém EPS je omezení z hlediska dosahu bezdrátové komunikace mezi hlásičem a rozhraním. Pokrytí celého objektu signálem lze docílit umístěním zesilovacích prvků. Nevýhodou bezdrátového systému elektrické požární signalizace jsou vyšší cenové náklady na pořízení systému. Bezdrátové hlásiče jsou ve srovnání s klasickými automatickými hlásiči elektrické

požární signalizace větší. Do patice hlásiče je nutné instalovat prvky sloužící pro bezdrátovou komunikaci a baterie, které hlásič zásobují energií.



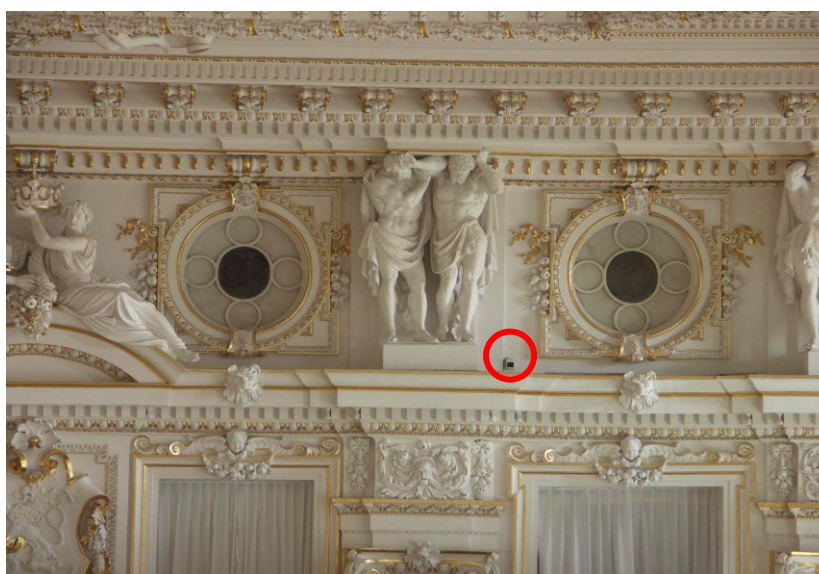
Obr. 12 Bodový hlásič ukrytý v ornamentu stropu [foto Ing. Rudolf Kaiser]

V některých případech je vhodnějším a šetrnějším řešením použití *integrovaného lineárního hlásiče kouře*, a to zejména u rozsáhlých ploch – sály, haly (Obr. 13). Tento hlásič je tvořen vysílací/přijímací jednotkou a odrazovým hranolem. Detekce požáru je založena na principu absorpce, kdy mezi jednotkami vede IR paprsek, průchodem kouře dojde k zeslabení paprsku. Pokud toto zeslabení přesáhne předem nastavenou hodnotu je detekován požár. V případě šetrného umístění do interiéru sestava nijak prostor neruší. Podobnou variantou, kdy se hlásič nemusí instalovat na strop, je případ *hlásiče vyzařování plamene*. Lze jej umístit do rohu místnosti a tím ho učinit také méně nápadným. Lineární hlásiče jsou náchylné na plané poplachy a to zejména při umístění hlásičů na dřevěných konstrukcích objektu. Během teplotních rozdílů dřevěná konstrukce stále pracuje a dochází k vychýlení paprsku hlásiče, což je hlášeno jako porucha, případně požár.

Velmi vhodným systémem do interiéru historických objektů je *nasávací systém* elektrické požární signalizace. Aspirační hlásiče kouře představují pro interiér minimální zásah, v případě potřeby je možno je bez následků odstranit. Nasávací hlásiče jsou velmi spolehlivou detekční jednotkou.

Systém je složen z perforovaného nasávacího potrubí a vyhodnocovací jednotky s vestavěným ventilátorem nebo kompresorem. Přívod vzduchu do vyhodnocovací jednotky pomocí sacích trubek je v porovnání např. s bodovými optickokouřovými hlásiči účinnější způsob identifikace kouře a umožňuje včasnější detekci požáru v jeho úplném zrodu. Sací otvory lze

mnohem snáze umisťovat na strategická místa, kde se předpokládá kumulace kouře. Sací potrubí je možno umístit na římsy, atiky interiéru, na lustr apod. (viz. Obr. 14). V případě umístění potrubí do podhledu nebo dvojitého stropu (Obr. 15) se pomocí tzv. kapilárních trubic vyvedou externí sací body, které jsou na stropě takřka neviditelné. Kolem nasávacích potrubí vyvedených ve stropní konstrukci však může docházet ke kondenzaci vodní páry a poškození stropní výmalby (viz. Obr. 16). Další nevýhodou tohoto systému je jeho ekonomická náročnost. Tento systém je použit např. ve věži hradu Karlštejn.

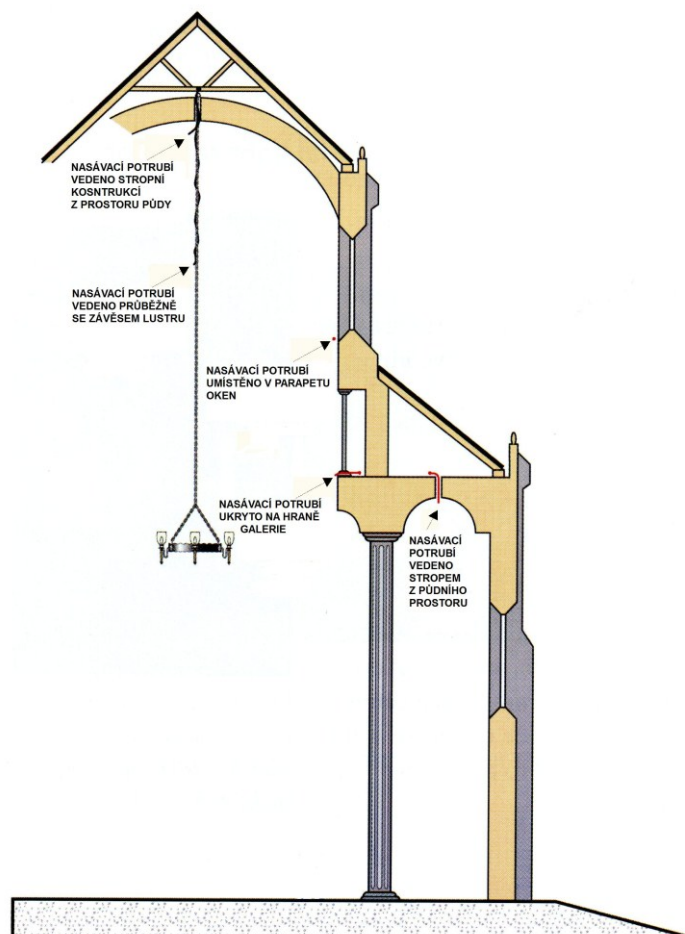


Obr. 13 Integrovaný lineární hlásič v prostorách Španělského sálu [foto Ing. Rudolf Kaiser]

Obdobným systémem, z hlediska ukrytí v interiéru, je *teplotní hlásič liniový*. Jedná se o tepelně citlivý kabel s různými teplotami reakce, který detekuje přehřátí po celé své délce. Systém je velmi spolehlivý, bezporuchový a je vysoce klimaticky odolný. Jeho použití je vhodné zejména pro rozsáhlé podkrovní prostory památkově chráněných objektů.

V zahraničí je velmi používaný systém detekce požáru za pomoci *videodetekce*. Výhodou tohoto systému je možnost spojení kamerového elektrického zabezpečovacího systému se systémem detekce požáru za pomoci zobrazovacího programu a software, který je schopen identifikovat přítomnost kouře nebo plamenů, případně termovizní kamery detekující nárůst teploty. Ne vždy lze nástavbu na detekci požáru instalovat do stávajícího kamerového systému EZS. Jedná se o poměrně finančně nákladný systém, jehož cenu zvyšuje také omezení připojení maximálně čtyř kamer na jednu vyhodnocovací jednotku. Systém videodetekce je schopný rychle a spolehlivě detekovat i malé množství kouře, a to jak

v malých, tak i velkých prostorech. Jedná se o jediný systém, který je vhodný také pro venkovní použití. (Obr. 17). Kamery jsou schopny střežit rozsáhlý areál a automaticky detekovat nárůst teploty nad limitní hranici.



Obr. 14 Možné způsoby umístění nasávacího potrubí detektoru kouře v prostoru kostela [50]

Systém videodetekce požáru je instalován v kapli Sv. Kříže na státním hradě Karlštejn. Systém používá běžnou CCTV kameru připojenou k centrální jednotce, která analyzuje přítomnost kouře v prostoru.



Obr. 15 Externí sací body nasávacího systému vedeného v podhledu [50]

Detekce požáru za pomoci termovizních kamer, které snímají infračervené části spektra, je využita například v muzeu Louvre v Paříži, kdy je software schopen detekovat nejen požár, ale také přechodové odpory nebo přehřátí kabeláže elektroinstalace využitím termovizních kamer. Videodetekce není v současné době certifikována jako systém elektrické požární signalizace pro použití v České republice. Z tohoto důvodu ji nelze použít jako samostatný systém detekce, ale pouze jako doplněk k jinému certifikovanému systému EPS.



Obr. 16 Porušení stropní konstrukce kondenzací vodní páry u nasávacího bodu detekčního systému [38]

Mimo automatických hlásičů EPS je zapotřebí do prostor historických objektů umístit i tlačítkové hlásiče požáru. Podle normy [85] musí být tlačítkové hlásiče provedeny v červené barvě, tedy barvu nelze měnit. Je možno provést architektonicky šetrnější zapuštěnou montáž hlásiče.



Obr. 17 Detekce požáru ve venkovním prostředí za pomoci termovize [44]

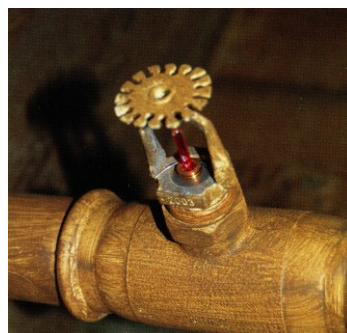
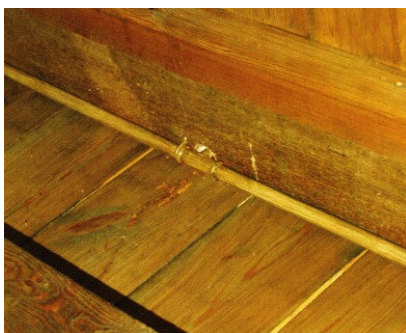
Doplňující zařízení EPS, jako je nouzový rozhlas, je možno umístit do prostoru obdobným způsobem jako bodové hlásiče. Tedy zapuštěnou montáží do stěny, zakrytím mřížkou, která bude provedena ve stejné barvě jako stěna v níž je umístěna.

V případě instalace *samočinného stabilního hasicího zařízení* (dále SSHZ) v památkově chráněných objektech je, jako u elektrické požární signalizace, nutné respektovat interiér objektu a upravit systém SSHZ tak, aby byl co nejméně opticky rušivý. Důležitější je však zvolit vhodný druh hasiva. Hasivo musí být účinné a současně musí působit šetrně na uložené předměty, jenž nejsou zasaženy požárem (nábytek, knihy, obrazy, případně archiválie apod.).

Pro svůj široký výskyt a ekonomickou dostupnost je nejvíce využívaným hasebním prostředkem voda. Jejím nevýznamnějším hasebním efektem je efekt chladicí. Vedle efektu chladicího je voda schopna působit jako inertizační prostředek. Odpařením vody se zvětšuje její objem 1700krát a vzniklá pára vytěsňuje kyslík z prostoru hoření. Hasební účinek vody je ovlivněn vlastnostmi hořlavých látek, velikostí kapiček vody, intenzitou dodávky a přísadami chemikálií. Hasební účinek vody je také závislý na způsobu, jakým je hasební látka k požáru přivedena. Stříká-li se voda do prostoru plným proudem, mají částice sice velkou hmotnost, ale malý povrch. Je – li tato voda roztříštěna na malé kapičky, celkový povrch mnohonásobně vzroste, ochlazování i vypařování probíhá několikanásobně rychleji.

Vodní, zejména pak *sprinklerová stabilní hasicí zařízení* (SHZ) patří k nejrozšířenějším stabilním hasicím zařízením i v oblasti ochrany kulturního dědictví. V interiéru objektů je nutné skrýt dva komponenty SHZ, a to potrubní síť a sprinklerové hlavice. Pokud je to možné

je vhodné potrubí SHZ skryt ve stavební konstrukci, v případě oprav systému je však nesnadno přístupné. Nejvhodnějším řešením se jeví barevné sladění potrubí s barvou okolních konstrukcí (Obr.18), vedení v blízkosti říms a atik, zakrytí potrubí vhodným stavebním prvkem a použití pokud možno co nejmenší světlosti potrubí. Měděné potrubí získává po letech patinu, splyne tak přirozeně s objektem. Jiným vhodným řešením je vedení potrubního systému mimo reprezentativní prostory objektu, kde do chráněného prostoru jsou vyvedeny pouze sprinklerové hlavice.



Obr. 18 Potrubí a hlavice vodního SHZ v barvě okolních konstrukcí [44]

Splynutí sprinklerových hlavíc s interiérem dosáhneme volbou vhodného nátěru, šetrným umístěním hlavice do ornamentu stropu nebo užitím polozapuštěných sprinklerových hlavíc. V tomto případě jsou hlavice zapuštěny částečně do stropní konstrukce, což však vyžaduje vybudování ne malých otvorů, které mohou rušit estetický vzhled interiéru.

Voda může významně poškodit historické objekty a předměty v nich uložené. Je však nutné uvážit ztráty způsobené požárem bez hasebního zásahu. Poškození vodou spuštěním sprinklerového systému je podstatně nižší než při použití hasebních proudů jednotek požární ochrany, množství vody vytékající sprinklerovou hlavicí je 100 až 1 000 menší. I pro toto množství je však nutné zajistit odvod tak, aby bylo eliminováno její působení na stavební konstrukce, malby apod.

Z hlediska následných škod po požáru je nejšetrnějším stabilním hasicím zařízením *vysokotlaká vodní mlha*. Tento systém je využíván pro ochranu dřevostaveb v skandinávských zemích, kde jsou interiéry dřevěných kostelů zdobeny cennými malbami. Barvy těchto maleb jsou rozpustné ve vodě, z tohoto důvodu je vyloučeno použití klasických sprinklerových systémů. Na základě pokusů, během kterých se sledovalo působení sprinklerů, nízkotlaké mlhy a vysokotlaké mlhy na vzorky maleb, bylo prokázáno nejmenší poškození maleb

za použití vysokotlaké mlhy. Jednou z dalších výhod tohoto systému je jeho podstatně nižší potřeba vody a subtilnější potrubí, které lze snadno ukrýt v interiéru. Nevýhodou systému stabilního hasicího zařízení, které využívá vysokotlaké mlhy, je jeho vysoká pořizovací cena. Ta je způsobena zejména nákladným čerpadlem, které zajišťuje provozní tlak systému.

Instalace systému vodního samočinného stabilního hasicího zařízení vyžaduje v objektu stavební připravenost, zejména s ohledem na umístění zdroje vody pro hašení a strojovny SSHZ. Dalším nezbytným prvkem, důležitým pro funkci samočinného stabilního hasicího zařízení, je náhradní zdroj elektrické energie (ve většině případů se jedná o diesलगregát). Prostor pro umístění náhradního zdroje elektrické energie a také prostor strojovny SHZ musí tvořit samostatný požární úsek. Při instalaci daného systému v památkově chráněném objektu je nutné zvážit umístění těchto funkčně důležitých místností.

Plynové hasicí zařízení představují, vedle stabilních hasicích zařízení na vodní bázi, další alternativu ochrany objektů. Plynná hasiva lze rozdělit na dvě základní skupiny – přírodní a chemické plyny. První plynové stabilní hasicí zařízení bylo vyvinuto na bázi oxidu uhličitého. V současnosti je tento systém využíván pouze pro bezobslužné prostory vzhledem k jeho negativním účinkům na lidský organismus. Dalším z přírodních plynů, který je využíván pro hasební účely je argon. Jedná se o inertní plyn, který za normálních podmínek nevytváří chemické sloučeniny. Je tedy vhodný pro hašení velmi cenných uměleckých děl a k ochraně materiálů, u kterých hrozí chemická reakce s hasebním médiem. Nevýhodou argonu je jeho vysoká finanční náročnost.

Obdobné hasební účinky jako argon má i plyn, který je nejvíce zastoupený v zemské atmosféře. Dusík působí jako inertizační prostředek, který snižuje koncentraci kyslíku v požářišti pod úroveň umožňující hoření. Tuto koncentraci je v prostoru nutno udržet po určitou dobu, aby nedošlo k opětovnému vznícení předmětů. Účinnost dusíku jako hasiva je však nižší než účinnost CO₂. K zajištění dostatečné hasební koncentrace je zapotřebí velkého počtu tlakových lahví (pro ochranu 1000 m³ objemu je zapotřebí 27 ks tlakových lahví). Výhodou systému je jeho cena oproti systémům s chemicky vytvořenými plyny.

Inergen je směsí dusíku 52%, argonu 40% a 8% CO₂. Všechny tyto plyny jsou netečné, nejedovaté, bezbarvé, teplem se nerozkládající a s ohněm nereagující. Při použití tohoto hasiva dochází v uzavřeném prostoru k poklesu koncentrace kyslíku z 21 % na 12 % obj. a zvýšení hladiny oxidu uhličitého z 0,03 % obj. na 4 % obj.

Chemické plyny vykazují výrazně rychlejší hasicí účinnost než plyny přírodní. Řadíme mezi ně např. FM – 200TM, FETM – 13 nebo NovecTM 1230. Chemické plyny nejsou vhodné pro použití v případě hašení historických interiérů. Při teplem rozkladu hasiva vzniká mimo jiné kyselina fluorovodíková, která je vysoce agresivní na velké množství materiálů, včetně skla. Druhým velmi podstatným nedostatkem hasiva je ekonomická nevýhodnost. Chemickými plyny je doporučeno chránit pouze malé prostory do objemu 300 m³.

Použití plyných hasiv v prostorách památkově chráněných objektů je však omezené. K tomu, aby bylo plynové SHZ účinné musí být zajištěna dostatečná těsnost prostoru tak, aby hasební koncentrace byla v prostoru udržena po určitou dobu 10 – 15 minut. Je nutné posoudit, zda dutiny ve stropě a v podlaze jsou dostatečně odděleny od chráněného prostoru tak, aby byla zajištěna hasební koncentrace. Dále je nutné vybudování přetlakových klapek, které umožní vyrovnání tlaku a vytlačení kyslíku mimo chráněný prostor. Koncové komponenty plynového hasicího zařízení lze v interiéru ukrýt obdobně jako je tomu u vodního SHZ, ovšem v případě tlakových lahví s hasivem musí být dodržena pravidla pro skladování tlakových lahví. Ty nesmí být uloženy v půdních prostorách, umístění v nadzemních podlažích je problematické z hlediska únosnosti stávajících stropních konstrukcí. Z výše uvedených důvodů jsou plynové stabilní hasicí zařízení využívány zejména k ochraně mobilních kulturních památek, které jsou uloženy v novostavbách. V případě plyných hasiv je nutné zhodnotit také případnou chemickou reakci zvoleného hasiva se střeženými materiály objektu.

Pěna jako hasební látka je dvoufázový systém složený z vody s příměsí pěnotvorné látky. Hlavní hasební efekt je dusivý, při zásahu pokryje celou plochu hořícího materiálu se všemi nerovnostmi. Chladicí účinek pěny závisí na druhu použité pěny, dobré chladicí účinky má pěna těžká, která má největší příměs vody. Pěna má vyšší hasební účinek než voda, ovšem pro hašení cenných materiálů ji nelze využít. Jedná se o lyofilní látky, které nelze po požáru z materiálů odstranit. **Hasicí prášky** jsou organické nebo anorganické látky v tuhém skupenství, které zdolávají požár na chemickém mechanismu hašení. Částice prášku jsou pod tlakem vypuzovány z hasicího zařízení, mrak obsáhne celé požářiště, kde odebírá energii volným radikálům a tím je likviduje. Účinek hasicích prášků je rychlý a účinný. Z výše uvedeného však vyplývá, že jejich použití v interiérech historických objektů i pro hašení movitých kulturních památek jsou zcela nevhodné. Po požáru velmi těžko odstranitelné hasivo

i z nepoškozených materiálů, dále prášek za vyšších teplot chemicky reaguje, zcela degraduje hašený materiál.

Závěrem provedeného rozboru problematiky zajištění požární bezpečnosti historických objektů je možno současné technické možnosti zabezpečení objektů hodnotit jako dostačující. V současnosti jsou k dispozici systémy detekce požáru i systémy hasebních zařízení, které je možno v památkově chráněných objektech umístit, aniž by výrazně ovlivňovaly vzhled interiérů. Prostory historických objektů tedy podle současných technických možností lze vybavit systémy požárně bezpečnostních zařízení. Otázkou je, proč převážná většina památkově chráněných objektů v České republice, na rozdíl od zahraničí, doposud není aktivními prvky požární bezpečnosti staveb zabezpečena. Důvodem je zejména nedostatek finančních prostředků vlastníků objektů.

V současné době existuje na trhu široké spektrum systémů detekce požáru, které umožňují jejich správnou funkci při minimálním zásahu do interiéru objektu. Z představených typů detekce však nelze vybrat pouze jeden systém, který by byl univerzální pro všechny památkově chráněné objekty. Je nutné zvolit nejvhodnější typ systému s ohledem na detekovaný parametr požáru a nežádoucí vlivy, které mohou na systém působit. Například instalací klasických systémů elektrické požární signalizace v prostorách sakrálních objektů nedosáhneme zvýšení bezpečnosti. Bodová a liniová čidla požáru nejsou schopna v tak rozsáhlém objektu dosáhnout rychlé reakce, je tedy nutné nalézt technické řešení, které při minimálním zásahu do objektu bude plně funkční.

Jiná je situace v oblasti samočinných stabilních hasicích zařízení. Z představených systémů lze, na základě provedených velkorozměrových zkoušek u nás i v zahraničí, konstatovat, že nejúčinnější a zároveň nejšetrnějším systémem pro ochranu interiérů památkově chráněných objektů, je samočinné stabilní hasicí zařízení na bázi vysokotlaké mlhy. Pro činnost systému je potřeba vody výrazně nižší než u klasických sprinklerových stabilních hasicích zařízení, po použití tedy vzniká mnohem menší množství odpadní vody, která by následně mohla působit škody. Ve srovnání s konvekčními spriklerovými stabilními hasicími zařízeními jsou pro systém požadovány podstatně vyšší investiční náklady.

4. Analýza současných metod hodnocení požární odolnosti stávajících stavebních konstrukcí

Konstrukční systémy památkově chráněných objektů odpovídají době výstavby, účelu a prostředí, ve kterém stavba vznikala. V případě rekonstrukcí památkově chráněných objektů je snaha zachovat původní stavební konstrukce objektů. V souvislosti s řešením požární bezpečnosti památkově chráněného objektu je nutné provést hodnocení požární odolnosti stavebních konstrukcí. Obecně lze hodnotu požární odolnosti stavební konstrukce získat na základě velkorozměrových zkoušek požární odolnosti nebo výpočtem. V praxi se prokazování dosažené požární odolnosti nejčastěji provádí užitím tabulkových hodnot, které byly získány z požárních zkoušek a interpolací a extrapolací výsledků zkoušek. Prokazování požární odolnosti konstrukcí památkově chráněných objektů velkorozměrovými zkouškami požární odolnosti je velmi problematické z hlediska zachování autentických stavebních konstrukcí, které by byly v případě podrobení zkoušce požární odolnosti poškozeny. Využití replik původních konstrukcí, vzhledem k použití soudobých stavebních materiálů, by zcela neodpovídalo skutečnosti. Tento způsob lze využít pouze v případech, kdy jsou původní konstrukce objektu, z důvodu narušení jejich statiky nahrazeny novými.

Výpočet požární odolnosti stavebních konstrukcí podle Eurokódů vychází ze statického posouzení konstrukce. V případě historických konstrukcí památkově chráněných staveb je nutné provést průzkum konstrukcí z hlediska jejich únosnosti vzhledem k degradaci materiálu zapříčiněnou prioritně časovými, klimatickými a biologickými faktory. Zejména u dřevěných nosných konstrukcí jsou pevnostní charakteristiky materiálu ovlivněny především vlhkostí a biologickými škůdci. Příčinou snížené únosnosti dřevěných konstrukcí je rovněž vznik trhlin, zejména v oblasti mechanických spojů. Před výpočtem požární odolnosti stavební konstrukce je tedy nutné provést důkladnou prohlídku konstrukcí, případně statické posouzení únosnosti konstrukce při běžné teplotě, na které lze navázat posouzením nosnosti konstrukce v případě požáru.

Statické hodnocení stavebních konstrukcí podle metodiky uvedené v souboru evropských norem tzv. Eurokódů je určeno především pro navrhování nových konstrukcí a neuvádí podmínky pro posuzování rekonstrukcí a sanací stávajících konstrukcí. Metodika hodnocení spolehlivosti stávajících konstrukcí je uvedena v ČSN ISO 13 822 [87]. Pro posouzení

spolehlivosti stávající konstrukce je nezbytné stanovit účel hodnocení konstrukce z hlediska požadavků na její funkční způsobilost. Návrh zohledňuje degradaci stavebního materiálu, je však nutné stanovit jeho příčinu. Při hodnocení stávajících konstrukcí podle metodiky uvedené v [87] je nutné zohlednit mimořádné návrhové situace, ke kterým řadíme požár. V dokumentu však nejsou uvedeny podrobnější pokyny pro hodnocení požární odolnosti stávajících konstrukcí. Stávající a nové metody hodnocení požární odolnosti existujících stavebních konstrukcí jsou popsány v kapitolách 4.1 až 6.3 disertační práce.

4.1 Návrh požární odolnosti zděných a hrázdných konstrukcí

Nosnou konstrukci převážné většiny historických památkově chráněných objektů, vyjma dřevěných objektů, tvoří kamenné či zděné stěny. Požární odolnosti zděných stěn lze prokázat na základě tabulkových hodnot uvedených v ČSN EN 1996-1-2 [82]. Platnost tabulkových hodnot je omezena pro stavební konstrukce, které byly navrženy podle ČSN EN 1996-1-1 [82], čemuž zděné stěny historických objektů neodpovídají. I za těchto podmínek při dodržení minimálních rozměrů konstrukce lze využít tabulkových hodnot [26]. Norma se však nevztahuje na zdivo z přírodního kamene. Pro klasifikaci požární odolnosti zděných stěn z pálených cihel jsou zdící prvky historických objektů zařazeny do kategorie 1S podle ČSN EN 1996-1-2 [81]. Kategorie 1S zahrnuje zdící prvky plné, pálené s obsahem dutin do 5%, ložné i styčné spáry zdiva jsou vyplněny maltou. V případě, kdy styčné spáry jsou nevyplněny a jejich šířka je maximálně 5 mm, lze využít tabulkové hodnoty za předpokladu, že alespoň na jedné straně je aplikována omítka o tloušťce minimálně 10 mm. Při hodnocení požární odolnosti zděné stěny je nutné při rekonstrukci objektu provést stavebně technický průzkum z hlediska dimenze stěny, použitých zdících prvků a určení orientační pevnosti malty. Hodnoty požární odolnosti zděných stěn z pálených cihel a přírodního kamene jsou uvedeny v Tab. 1.

Zděné konstrukce z pálených cihel a přírodního kamene historických objektů vyhovují požadavkům požární odolnosti vzhledem k jejich značné tloušťce (Obr. 19). Jinak je tomu u nepálených cihel, tzv. vepřovic. Stěny zděné z nepálených cihel vykazují nízkou hodnotu požární odolnosti, která je závislá na použitých surovinách pro výrobu zdícího prvku. Dokladem toho je novodobý výrobek firmy HELUZ [101] - nepálené cihly z hlíny. Výrobce

deklaruje požární odolnost nepálené cihly EI 15 podle ČSN EN 1996-1-2 [81] a to v tloušťce konstrukce stěny 250 a 120 mm.

Materiál (objemová hmotnost za sucha [kg.m ⁻³])	Požární odolnost v minutách						Klasifikace požární odolnosti/minimální tloušťka stěny [mm]
	30	45	60	90	120	180	
Zdivo z plných pálených cihel neomítnuté (1000 kg.m ⁻³ ≤ ρ ≤ 2400 kg.m ⁻³)	REI 90	REI 90	REI 90	REI 100	REI 140	REI 190	
Zdivo z plných pálených cihel omítnuté, min. tl. omítky 10 mm (1000 kg.m ⁻³ ≤ ρ ≤ 2400 kg.m ⁻³)	REI 90	REI 90	REI 90	REI 100	REI 140	REI 140	
Zdivo z plných pálených cihel neomítnuté (1000 kg.m ⁻³ ≤ ρ ≤ 2400 kg.m ⁻³)	R 100	R 100	R 100	R 240	R 365	R 490	
Zdivo z plných pálených cihel omítnuté, min. tl. omítky 10 mm (1000 kg.m ⁻³ ≤ ρ ≤ 2400 kg.m ⁻³)	R 100	R 100	R 100	R 100	R 170	R 240	
Zdivo z přírodního kamene* (2000 kg.m ⁻³ ≤ ρ ≤ 2500 kg.m ⁻³)	EI 100	REI 140	REI 155	REI 200	REI 235	REI 290	

Tab. 1 Hodnoty požární odolnosti zděných stěn [81], [93]

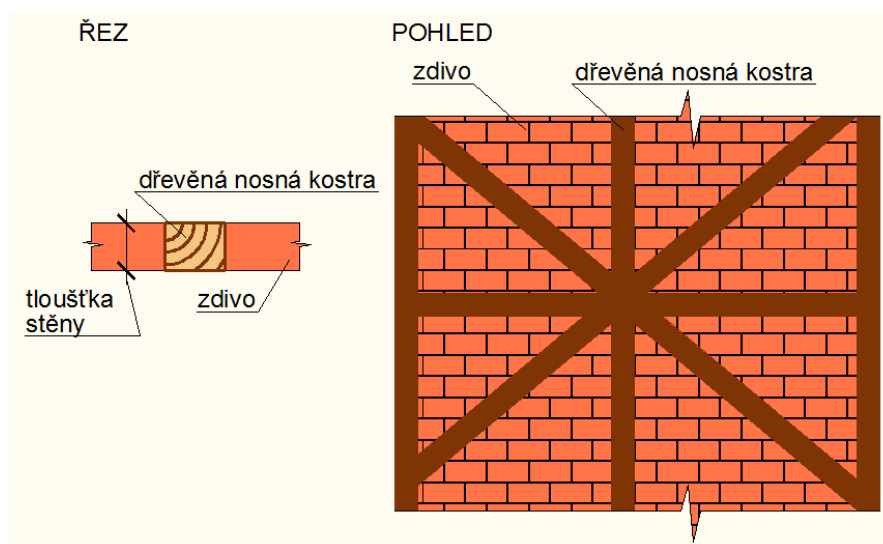
*Hodnoty požární odolnosti zděných stěn z přírodního kamene byly stanoveny na základě výpočtu jednorozměrného nestacionárního vedení tepla, autor výpočtu Ing. František Pelc [93].



Obr. 19 Ilustrativní obrázek nosné zděné stěny,
plášťový most zámek Český Krumlov [foto autor]

Kombinací dřevěných nosných prvků (nosné kostry) se zdivem, jsou tvořeny hrázděné stavební konstrukce. Požární odolnost hrázděných stěn lze získat z tabulkových hodnot [74]. Hrázděné stěny s dřevěnými prvky zcela zapuštěnými do zdiva, bez omítky, vyhovují požární odolnosti:

- REI 45 DP3, při tloušťce stěny 100 mm;
- REI 60 DP3, při tloušťce stěny 150 mm;
- REI 90 DP3, při tloušťce stěny 200 mm.



Obr. 20 Hrázděná konstrukce [70] [74]

Podle požadavků normy ČSN 73 0834 [71] lze hrázděné zdivo tloušťky alespoň 150 mm bez dalšího průkazu hodnotit jako konstrukci stěny vyhovující požární odolnosti REI 60 DP1. V daném případě norma neuvádí, zda se hodnocení vztahuje ke konstrukci s omítkou. Typ konstrukčního dílce hrázděného zdiva podle ČSN 73 0834 [71] - DP1 neodpovídá hodnocení, které uvádí ČSN 73 0821 ed.2 [74] - DP3. Jedná se pravděpodobně o chybu v čl. 5.5.8 ČSN 73 0834, hodnocení konstrukčního dílce hrázděné stěny bez omítky podle požadavků kodexu norem požární bezpečnosti odpovídá klasifikaci DP3.

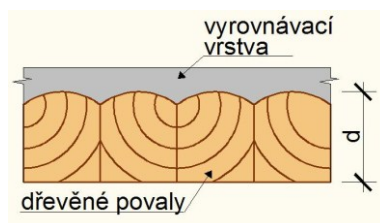
Slabými místy zděných konstrukcí v případě požáru jsou prostupy. Při rekonstrukcích objektů jsou provedeny nové instalace technických zařízení objektu, čímž vznikají nové prostupy požárně dělícími konstrukcemi. Tyto otvory musí být požárně dotěsněny tak, aby bylo zamezeno šíření požáru.

4.2 Návrh požární odolnosti dřevěných konstrukcí

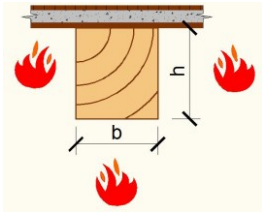
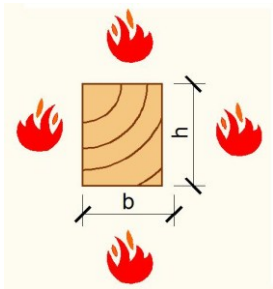
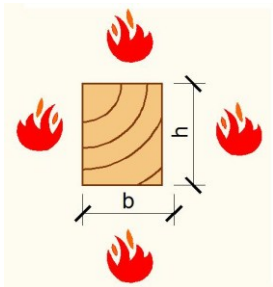
Nosné dřevěné konstrukce, jako jsou podpěrné sloupky vodorovných konstrukcí dřevostavby nebo jednotlivé prvky krovu, jsou nejproblematictější částí konstrukčního systému objektu. Při stanovení požární odolnosti sloupů a nosníků rozhodují převážně rozměry prvku a použitý materiál. V Tab. 2 jsou uvedeny hodnoty požární odolnosti dřevěných prvků, které jsou platné pro stavební konstrukce z jehličnatých a listnatých dřevin. Požadovaná požární odolnost pro tyčové dřevěné prvky, zejména u nosných střešních konstrukcí, bývá zpravidla vyšší, než je schopna konstrukce splnit. V praxi se často využívají různé typy požárně ochranných systémů pro zvýšení požární odolnosti nosných dřevěných prvků krovu, které však mohou stávající konstrukci značně poškodit (viz. kapitola 4.5).

Dřevěné vodorovné konstrukce s podhledem (s omítkou na rákosu) a záklopem lze hodnotit podle čl. 5.5.6 ČSN 73 0834 [71] jako požárně dělící konstrukci s požární odolností REI 45 DP2. Obecně se požární odolnost dřevěné stropní konstrukce se záklopem, násypem a podlahou, opatřené podhledem hodnotí z hlediska požární odolnosti ve dvou průřezech. V průřezu dřevěného nosníku odpovídá požární odolnost stropní konstrukce požární odolnosti dřevěného nosného prvku. V průřezu mimo nosníky je požární odolnost dřevěného trámového stropu hodnocena jako součet odolnosti záklopu a odolnosti podhledu. V případě potřeby doložení vyšší požární odolnosti stropní konstrukce, nebo jedná-li se o stropní konstrukci bez podhledu, je nutné provést stavebně technický průzkum a zhodnotit jednotlivé parametry stropní konstrukce. Na základě těchto hodnot lze stanovit požární odolnost konstrukce podle Tab. 3.

Povalový strop v tloušťce 100 mm lze klasifikovat jako požárně dělící konstrukci typu REI 45 DP3 při tloušťce povalů 70 mm, REI 60 DP3 při tloušťce povalů 100 mm [74].

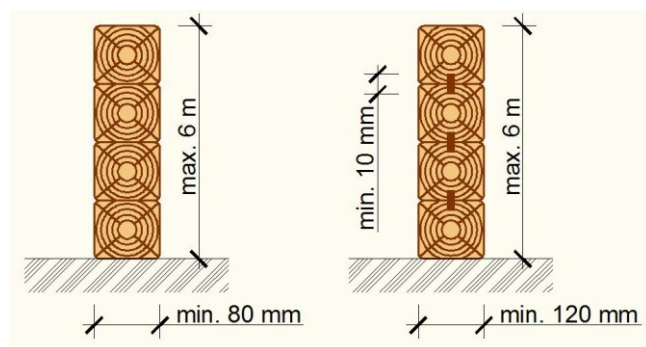


Obr. 21 Povalový strop [74]

Prvek	Požární odolnost	Rozměry
Nosník, vystavený požáru z 3 stran 	R15 R30 R45 R60	b = 80 mm; h = 100 mm b = 100 mm; h = 160 mm b = 160 mm; h = 180 mm b = 200 mm; h = 240 mm
Nosník, vystavený požáru ze 4 stran 	R15 R30 R45	b = 60 mm; h = 180 mm b = 120 mm; h = 220 mm b = 180 mm; h = 280 mm
Sloup, vystavený požáru ze 4 stran 	R15 R30 R45	b = 150 mm; h = 150 mm b = 200 mm; h = 250 mm b = 300 mm; h = 300 mm

Tab. 2 Hodnoty požární odolnosti nosných dřevěných konstrukcí [26]

Nosné roubené stěny z rostlého dřeva s průběžnou spárou (Obr. 22a) jsou z hlediska požární odolnosti klasifikovány hodnotou REI 30 DP3. Roubené stěny s neprůběžnou spárou (Obr. 22b) jsou klasifikovány požární odolností REI 90 DP3, v případě kdy je zajištěna hloubka zapuštění pera minimálně 10 mm a tloušťka stěny minimálně 120 mm. Požární odolnost nosných roubených stěn byla stanovena pomocí softwaru FDS – Fire Dynamic Simulator, autorem výpočtu je Ing. František Pelc [93].



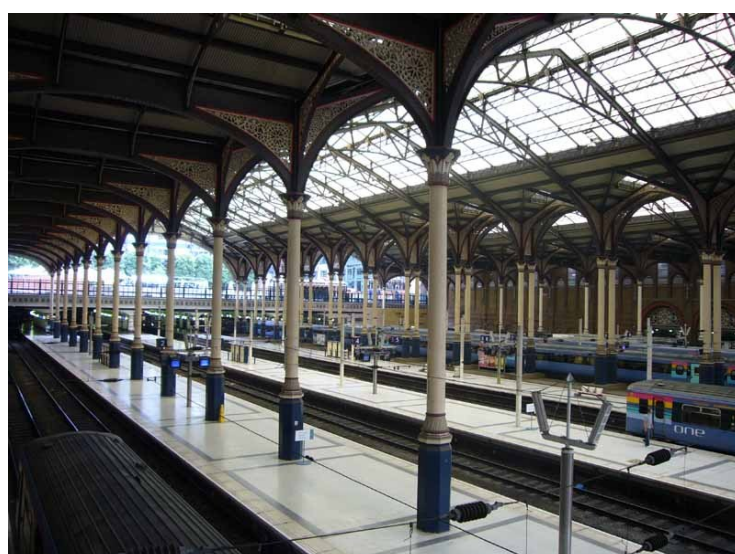
Obr. 22 Roubené stěny [93]

a) s průběžnou spárou b) s neprůběžnou spárou

4.3 Specifika návrhu požární odolnosti litinových konstrukcí

Litinové stavební prvky jsou typické pro památkově chráněné objekty, jako jsou např. průmyslové haly a nádražní budovy. Litina je křehký materiál, jejíž vlastnosti se za zvýšených teplot podobají oceli. Požární odolnost litinových sloupů lze získat pouze výpočtem, který vychází ze stupně využití konstrukce a odvození kritické teploty prvku. K určení požární odolnosti litinových nosných prvků je velmi důležitý průkaz druhu použité litiny na stavbě. Při plném využití průřezu byla experimentálně prokázána požární odolnost nechráněných litinových sloupů až 45 minut [29].

Požární odolnost litinových sloupů je nutné řešit individuálně podle velikosti zatížení konstrukce a typu konstrukce a druhu litiny.

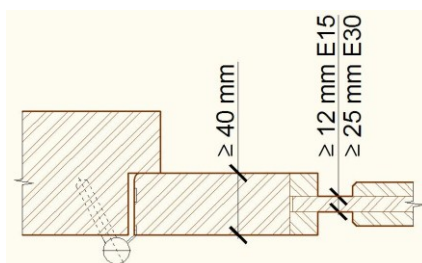


Obr. 23 Litinové sloupy, nádraží Liverpool Street Station, Londýn [119]

4.4 Posouzení požární odolnosti požárních uzávěrů

Velmi důležitým prvkem objektu zajišťujícím bezpečnost osob a také zabraňujícím šíření požáru jsou dveře. Původní dveře historických objektů jsou vyrobeny z masivního dřeva, ať už plné nebo se skleněnou výplní.

Plné dřevěné dveře z masivu splňují požadavek požární odolnosti 15 minut bez dalších úprav dveřního křídla, je-li splněna tloušťka 12 mm (Obr. 24) výplně z plného masivu v místě největšího zeslabení. Požární odolnost 30 minut vykazují masivní dřevěné dveře splňující výše uvedená kritéria při doplnění uzávěru o zpěňující těsnění. Masivní dřevěné dveře s tloušťkou rámu 40 mm, v místě největšího zeslabení minimálně 25 mm (Obr. 24) vyhovují kritériu požární odolnosti EI 30 DP3 za předpokladu, že dveřní kování je ocelové (střelka zámku, plech a závěsy) a po obvodu dveřního křídla je požární těsnění. Skleněná výplň dveřního křídla musí být tvořena sklem s drátěnou vložkou: při klasifikaci EI je omezena plocha skla na 25 % z celkové plochy dveří, maximálně však 0,5 m². Spára mezi křídlem dveří a zárubní, popřípadě mezi křídly v uzavřeném stavu nesmí být volná a dveřní křídlo nesmí mít otvory, vyjma kukátek.



Obr. 24 Posouzení požární odolnosti dveří, klasifikace EI15 a EI30 [71]

Požární dveře, které vyhovují kritériím podle ČSN 73 0834 [71] a vykazují požární odolnost za minimálních úprav dveřních křídel, však nelze považovat za kouřotěsné. U vitrážových dveří dojde v krátkém časovém úseku při požáru k prasknutí skla vitráže a porušení celistvosti konstrukce ve smyslu ČSN EN 1363-1 [76].

Aby požární dveře plnily správnou funkci, musí být při požáru prokazatelně uzavřeny. Ke splnění tohoto požadavku se na dveře montují samozavírače. Požární dveře jsou samočinně uzavřeny za pomoci samozavírače při každém otevření, případně mohou být převážně v otevřené poloze a samočinně se uzavírají v případě požáru. Samozavírač lze na dveřní křídlo dodatečně umístit, důležitá je volba vhodného typu podle hmotnosti dveřního křídla a

předpokládanému počtu cyklů uzavření. Instalace samozavírače však znamená nevratný zásah do konstrukce dveří. Kompromisem mezi požární ochranou a památkovou péčí by v tomto případě mohl být skrytý samozavírač v dutině dvevního křídla a dvevního rámu (Obr. 25).



Obr. 25 Skrytý samozavírač požárních dveří [44]

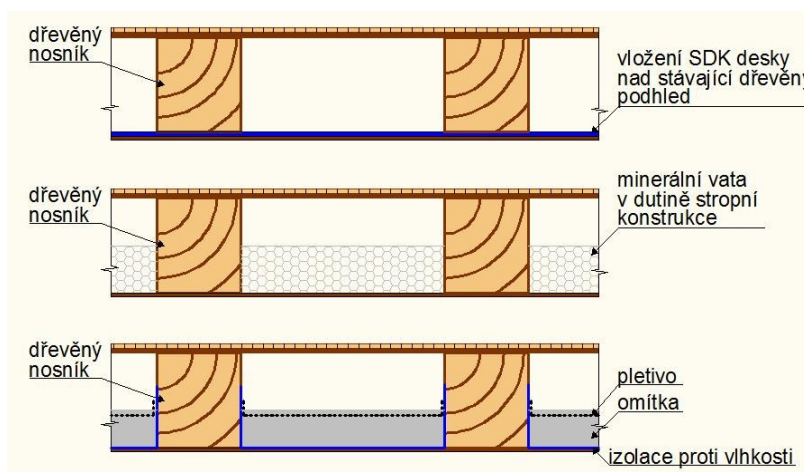
4.5 Možnosti zvýšení požární odolnosti historických konstrukcí

Zvýšení požární odolnosti stavebních konstrukcí historických objektů nelze ve většině případů řešit jinak běžnými opatřeními nebo úpravami, které jsou využívány pro novodobé stavební konstrukce. Konkrétně se jedná o:

- obezdění, obetonování,
- protipožární omítkoviny (omítky a nástřiky),
- protipožární nátěry,
- protipožární obklady.

Při rekonstrukcích památkově chráněných objektů je snaha zachovat autentičnost objektu a jeho stavebních konstrukcí. **Obezďením či obetonováním** dojde k zakrytí původní konstrukce, čímž tento požadavek nebude dodržen. Problematické je i využití obkladových materiálů. **Protipožární obklady** jsou velmi oblíbenou formou zvyšování požární odolnosti stavebních konstrukcí. Jedná se o suchou technologii, kdy se dřevěné, ocelové, litinové prvky opláští materiálem s odpovídající tepelně izolační schopností. K tomuto účelu se používají např. sádkartonové, sádrovláknité, cementotřískové, ale také dřevěné desky. Stavební konstrukce pod obkladem musí být opatřeny antikoročním nátěrem, v případě ocelových

konstrukcí a impregnujícím ochranným nátěrem proti biologickým škůdcům a hnilobě u dřevěných konstrukcí. Obkladové materiály tyčových i plošných konstrukcí zvyšují jejich požární odolnost v rozsahu R 15 až R 180, případně REI 15 až REI 180. Pro krovy je nutné posoudit vhodnost uplatnění podhledového systému ze sádrokartonu. Krov není na toto zatížení dimenzován a nemusí podhledovou konstrukci staticky unést. Jako negativní faktor se u uvedeného řešení projeví zamezení odvodu vlhkosti z dřevěné konstrukce a podpora nárůstu vlhkosti se všemi důsledky. Pro dřevěné záklopové stropní konstrukce zdobené malbou nebo ornamenty nelze navrhnout pro zvýšení požární odolnosti protipožární podhled, který neumožňuje jejich prezentaci. V zahraniční literatuře [55],[44],[94] jsou prezentovány metody zvýšení požární odolnosti (Obr. 26) za pomoci vložení dřevěného omítnutého řeziva, případně sádrokartonové desky mezi nosné dřevěné prvky a stávající podhled, dále vyplnění dutiny stropní konstrukce minerální vatou nebo provedení tzv. opačné omítky (omítnutí podhledu z druhé strany).



Obr. 26 Možnosti zvýšení požární odolnosti stávající stropní dřevěné konstrukce prezentované v zahraniční literatuře [55],[44],[94]

Uvedené metody však nespecifikují minimální tloušťky použitých materiálů a výslednou požární odolnost. Při realizaci daných opatření je nutné provést statické posouzení stávající konstrukce z hlediska únosnosti, zejména je – li konstrukce schopna unést další vložené materiály. Zvýšení požární odolnosti je nutné podložit odborným posudkem.

Protipožární omítkoviny jsou využitelné pouze v místech, kde dochází k rekonstrukci omítnuté stavební konstrukce, např. dřevěného stropu. Omítka či mazanina dřevo tepelně izoluje a brání přístupu vzduchu k povrchu, čímž účinně brání rozšíření požáru. Na druhé

straně jsou takto nově upravené stropy, stejně jako při použití obkladu, snadněji napadány dřevokaznými škůdci a houbami, z důvodů zadržování vlhkosti v konstrukci. Vzhledem k odlišnosti součinitele tepelné roztažnosti dřeva a omítkoviny nejsou tyto systémy pro dřevěné konstrukce preferovány.

Protipožární nátěry ocelových, litinových a dřevěných konstrukcí jsou prvkem, který zasahuje do vzhledu stavební konstrukce minimálně. Nejvíce využívané jsou intumescentní nátěry, které jsou založeny na vzniku nehořlavé pěny s malou tepelnou vodivostí. V případě ocelových konstrukcí lze nátěrem zvýšit požární odolnost, v závislosti na rozměru prvku, maximálně na hodnotu R 45. Podmínkou je, aby byl ocelový prvek zbaven původních nátěrů otrýskáním nebo očištěním. Dále se aplikuje antikorozní nátěr, na který se provede v několika vrstvách intumescentní nátěr, který musí být s antikorozním nátěrem kompatibilní.

K nesporným výhodám protipožárních nátěrů ocelových nosných konstrukcí patří nízká hmotnost, estetický vzhled a poměrně jednoduchá aplikace. Na druhé straně existují i nevýhody, a to v omezené životnosti nátěru, obtížné kontrole funkce nátěru a v nutnosti jeho obnovy spojené s nemalými finančními náklady.

Protipožárním nátěrem lze zvýšit požární odolnost také litinových nosných konstrukcí, stejně jako u oceli. Obvykle však nelze litinu chránit nátěrem na vyšší požární odolnost než 30 minut. Dále je nutné zabránit prudkému ochlazení konstrukce, tedy zabránit hasebnímu zásahu vodou. Litina v případě prudkého zchlazení praská a nosný prvek tak ztrácí stabilitu. Jako vhodnější opatření pro zvýšení požární odolnosti zejména dutých litinových sloupů je vyplnění dutiny betonem.



Obr. 27, 28 Protipožární dveře zámek Český Krumlov – replika původních dveří [105]

Nátěry dřevěných konstrukcí zvyšují jejich požární odolnosti o maximálně 15 minut v závislosti na rozměrech stavebního prvku. Dřevo musí být také zbaveno starých nátěrů, tak aby nic nebránilo přípravku v dokonalém styku a zakotvení na povrchu dřeva. Problematické je impregnované dřevo vosky nebo oleji. Impregnaci nelze z materiálu odstranit a intumescentní nátěr na takovémto podkladu neplní svou funkci. Zejména u historických objektů je prakticky nemožné zjistit předchozí povrchovou úpravu dřeva, která může s nátěrem reagovat a ovlivnit výsledný vzhled nátěru, a proto je vhodné provést zkoušku na skrytém místě. Protože protipožární nátěry neobsahují účinné látky proti dřevokazným škůdcům, je vhodné provést před vlastní aplikací požárního nátěru impregnaci proti dřevokazným škůdcům. Vhodné jsou zejména lihové přípravky, které nezanáší do dřeva vlhkost.

Nevýhodou intumescentních nátěrů dřevěných konstrukcí je nutnost jejich obnovy po uplynutí doby životnosti. Před obnovením protipožární ochrany je nutné původní nátěr odstranit, což může vést k povrchovému poškození dřeva a ztenčení profilu stavební konstrukce. Aplikací intumescentních nátěrů dochází k nežádoucí změně barevnosti dřevěných konstrukcí. Nátěry působí také na kovové spoje dřevěných konstrukcí, které jejich účinkem podléhají rychleji korozi.

Velmi negativně působí na dřevo dříve využívané vodou ředitelné impregnty. Jsou na bázi anorganických sloučenin (např. fosforečnany amonné, síran amonný, chlorid amonný, borax, kyselina boritá, alkalické křemičitany, chlorid zinečnatý, chlorid vápenatý, chlorid hořečnatý atd.). Pokud jsou tyto typy protipožární úpravy aplikovány na konstrukci formou hloubkové impregnace, mají prakticky neomezenou životnost. Jejich nespornou nevýhodou je však viditelné poškození dřevěných konstrukcí (Obr. 29) a rozvláknění dřeva. Rozvláknění dřeva způsobuje poškození a netěsnost tesařských spojů konstrukcí a ztrátu pevnosti nosného prvku. Dalším negativem je zhoršení mechanických vlastností dřeva.

Zvýšení požární odolnosti **masivních dřevěných dveří** je možné za předpokladu, že dveře jsou celistvé, bez prasklin a trhlin a jsou pevně usazeny v rámu (maximální velikost prahové spáry je 25 mm). Požární odolnost lze však zvýšit maximálně na hodnotu 30 minut. Repasováním stávajícího dveřního křídla lze zesílit jeho tloušťku na povrchu nebo uvnitř hmoty dřevěných křídel. Běžné tabulkové sklo lze nahradit požárním sklem, pokud je nutné zachovat původní prosklení dveří lze provést zdvojení skleněné výplně. Takovéto úpravy jsou finančně

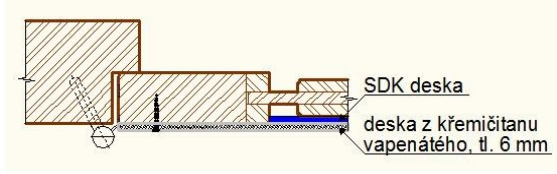
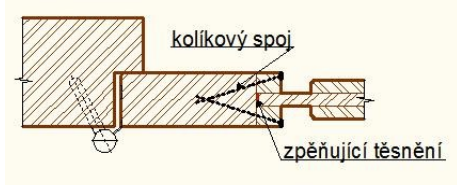
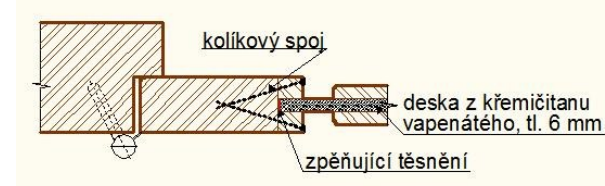
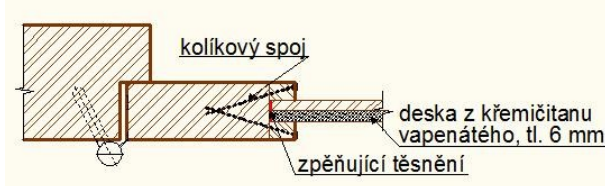
a řemeslně náročné a mnohdy je toto řešení na hranici realizovatelnosti. Požární odolnost upravených dveří musí být podložena odborným posudkem. Na základě znění čl. 5.5.7 ČSN 73 0810 [75] lze v případě, kdy se posuzují stávající dveře výpočtem, posoudit jejich kouřotěsnost. Principem výpočtu je stanovení množství zplodin hoření pronikající netěsnostmi dveří, které nesmí být vyšší než objem posuzovaného prostoru.



Obr. 29 Poškozená nosná dřevěná konstrukce krovu [43]

Ke zvýšení požární odolnosti dřevěných dveří nelze využít intumescentní nátěr. Jak bylo uvedeno, nátěr musí být proveden na dřevo bez dalších povrchových úprav. Povrchová úprava dveří provedená pouze protipožárním nátěrem není vždy estetická, provedení dalšího povrchového nátěru je však vyloučeno. V případě dveří nelze zamezit setření nátěru umytím dveří. V dnešní době je již možné nahradit dveřní a okenní uzávěry replikami splňující požadovanou požární odolnost i kouřotěsnost, které kromě uvedených požárně dělicích schopností uchovávají původní vzhled konstrukcí. Moderní technologie dnes umožňují plnohodnotně nahrazovat původní provedení, například 3D scan technologie s následným CNC zpracováním (Computer Numerical Control = počítačem řízený obráběcí stroj) dokáže vytvářet přesné repliky řezb a původních tvarů bez ohledu na použitý materiál a jeho tvrdost.

Zvýšení požární odolnosti dřevěných kazetových dveří za pomoci sádkartonových desek, desek z křemičitanu vápenatého nebo intumescentních materiálů je publikováno v [55], uvedené metody jsou podloženy velkorozměrovou zkouškou požární odolnosti. Příklady metod zvýšení požární odolnost dřevěných kazetových dveří jsou uvedeny v Tab. 4.

Metoda	Požární odolnost	Popis
 <p>SDK deska deska z křemičitanu vápenatého, tl. 6 mm</p>	20 min	<ul style="list-style-type: none"> deska z křemičitanu vápenatého je připevněna k stávající dveřím za pomoci šroubů délky 38 mm, SDK deska je přilepena za pomoci lepidla na bázi formaldehydu, tato metoda poškozuje původní vzhled dveří
 <p>kolíkový spoj zpeňující těsnění</p>	25 min	<ul style="list-style-type: none"> minimální tloušťka výplně dveří 25 mm, minimální tloušťka rámu dveří 30 mm, kolíkový spoj je proveden za pomoci ocelových hřebů, které jsou umístěny ve vzdálenosti 50 mm od kraje prvku, max. do hloubky 150 mm, mezi rám dveří a výplní je umístěno zpeňující těsnění
 <p>kolíkový spoj deska z křemičitanu vápenatého, tl. 6 mm zpeňující těsnění</p>	25 min	<ul style="list-style-type: none"> min. tloušťka desky s křemičitanu vápenatého 6 mm, deska nahrazuje původní výplň dveří, kolíkový spoj je proveden za pomoci ocelových hřebů, které jsou umístěny ve vzdálenosti 50 mm od kraje prvku, max. do hloubky 150 mm, mezi rám dveří a výplní je umístěno zpeňující těsnění metoda zasahuje do původního vzhledu dveří
 <p>kolíkový spoj deska z křemičitanu vápenatého, tl. 6 mm zpeňující těsnění</p>	30 min	<ul style="list-style-type: none"> metoda je použitelná pro dveře s šířkou rámu min. 300 mm, deska z křemičitanu vápenatého je přilepena k původní výplni dveří, mezi rámem a výplní je zpeňující těsnění, kolíkový spoj je proveden za pomoci ocelových hřebů, které jsou umístěny ve vzdálenosti 50 mm od kraje prvku, max. do hloubky 150 mm

Tab. 4 Metody zvýšení požární odolnosti stávajících dveří podle [55], [89]

Metody lze využít pro dveře s tloušťkou rámu minimálně 35 mm, maximální šířky dveřního křídla 950 mm a výšky 2 100 mm, hloubka zapuštění výplně dveří je minimálně 12 mm (Obr. 30). Kování dveří musí být provedeno z oceli nebo mosazi, závěsy dveří musí splňovat minimální rozměry 75 – 100 mm výška a 30 ± 3 mm šířka závěsu.



Obr. 30 Řez rámovými dveřmi [autor]

Z pohledu památkového ústavu je jakákoliv změna vzhledu stavební konstrukce památkově chráněného objektu nepřijatelná. Z tohoto důvodu směřuje snaha k nalezení kompromisu využitím objektu a požadavkem na zajištění požární bezpečnosti.

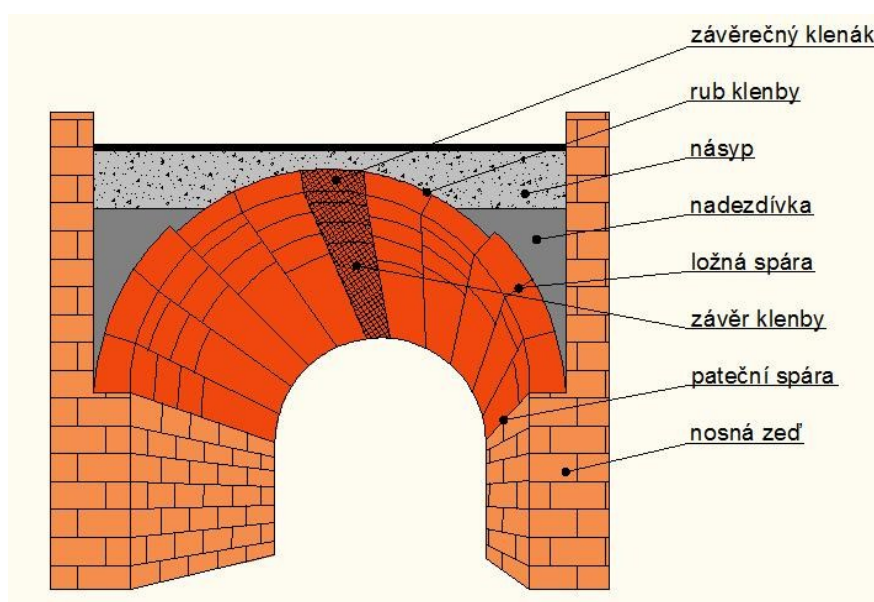
Na základě provedené analýzy hodnocení požární odolnosti stavebních konstrukcí památkově chráněných objektů lze konstatovat, že převážná většina historických stavebních konstrukcí vyhovuje požadované požární odolnosti. Za kritické prvky historických objektů z hlediska požární odolnosti považují subtilní nosné dřevěné prvky (sloupy, nosníky, nosné prvky krovu), kde požární odolnost závisí na dimenzi stavební konstrukce a dále litinové nosné konstrukce, k jejichž posouzení je nutné zjistit typ použité litiny a stupeň využití stavební konstrukce.

Současné metody hodnocení požární odolnosti stávajících stavebních konstrukcí jsou pro projekční praxi dostačující. V případě požadavku získání přesnějších hodnot požární odolnosti je možné vycházet z kodexu návrhových norem s názvem Eurokódy. Na základě zvoleného modelu požáru, stanovení teplot v prostoru požárního úseku a statického hodnocení konstrukce lze vypočítat hodnotu požární odolnosti.

Dodatečné úpravy stávajících stavebních konstrukcí za účelem zvýšení požární odolnosti nelze vždy doporučit, pokud je požadavek na zachování autenticity původní stavební konstrukce. V textu byl popsán negativní vliv vodou ředitelných protipožárních nátěrů na dřevěné konstrukce. Výzkum v dané oblasti byl zaměřen na protipožární nátěry, které byly používány v minulosti. Příspěvek současných intumescentních nátěrů k degradaci stávajících dřevěných nosných konstrukcí není popsán. Z tohoto důvodu doporučuji zaměřit oblast výzkumu na současné protipožární ochranné materiály.

5. Rozbor a hodnocení metod rekonstrukcí a sanací kleneb

Klenbou se ve stavebnictví rozumí zděná konstrukce kamenná nebo cihelná, která pro svůj tvar a vazbu přenáší celé zatížení šikmo do podpor, tzn. do opěrných zdí, pásů a pilířů. Klenba je sestavena obdobně jako zdivo z jednotlivých zdicích prvků. Kusové zdicí prvky mohou být tvarově upraveny do kónusu, pak je nazýváme klenáky. Vrchol klenby je uzavřen závěrečným klenákem. Pata klenby je část konstrukce, která přenáší tlakovou sílu do svislých podpor klenby. Základní názvosloví klenby je uvedeno na Obr. 31. Podle geometrického tvaru se klenby dělí na valené, neckovité, klášterní, křížové, atd., a další modifikace jednotlivých základních typů. Nepravá klenba je tvořena za pomoci předstupujícího zdiva, není použito klenáků ani patečních prvků. Tak zvané klenby do traverz jsou vyžděny do I nosníků, které vytváří nosnou konstrukci stropu.



Obr. 31 Základní názvosloví konstrukce klenby [8]

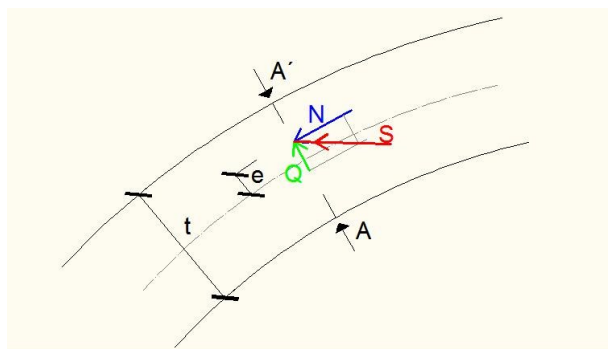
5.1 Statické působení kleneb

V případě klenby se jedná o konstrukci převážně tvořenou kusovým stavivem a maltou. Klenby jsou obloukové konstrukce, které přenášejí účinky zatížení převážně tlakem. Při statickém hodnocení klenby posuzujeme maltu jako výplňový materiál, který není schopen

přenášet tahová namáhání, ale podporuje rozložení tlaku v klenbě. Vlastní hmotnost klenby a vnější zatížení vyvozují tzv. obloukovou sílu S (viz. Obr. 32). Spojnici působíšť vnitřní obloukové síly ve všech průřezech klenby nazýváme tlakovou čarou. Obloukovou sílu lze rozložit na složku normálovou N , kolmou na ložnou spáru a složku posouvající Q , rovnoběžnou s ložnou spárou. Působíště obloukové síly S by se mělo nacházet uprostřed klenby, tj. ve vnitřní třetině výšky průřezu (tzn. tloušťky klenby t). Hodnota výstřednosti e poté splňuje podmínku $e \leq t/6$. V důsledku normálové složky obloukové síly je klenba schopna přenášet i ohybové momenty pouze za předpokladu, že působíště obloukové síly zůstane v jádru průřezu klenby.

Stability klenby dosáhneme, jsou-li v každém jejím průřezu splněny tři výminky (podmínky) rovnováhy:

- výminka rovnováhy v pootočení – působíště tlaku nesmí vystoupit mimo průřez,
- výminka rovnováhy v posunutí – výslednice sil S s kolmicí ke spáře svírá úhel, který je menší než úhel tření zdiva φ . Úhel tření suchého kamenného nebo cihelného zdiva je $\varphi = 31^\circ - 35^\circ$, úhel tření vlhkého zdiva je přibližně $\varphi = 25^\circ$,
- výminka bezpečné pevnosti – v žádném průřezu klenby nesmí být překročena pevnost zdiva v tlaku.

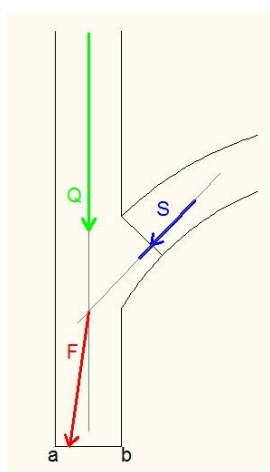


Obr. 32 Síly působící v řezu klenby $A - A'$ [autor]

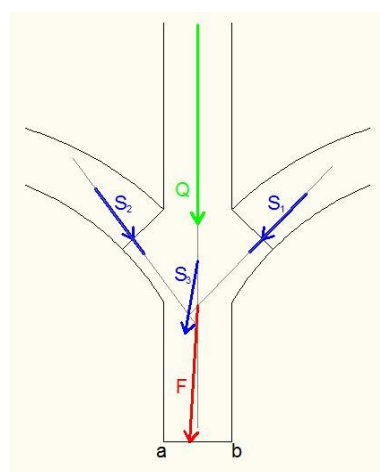
Stabilita klenby závisí zejména na jejím opěrném systému, který musí být zabezpečen vůči vybočení a musí splňovat dostatečnou tuhost. Krajiní podpory jsou namáhány jednostranně, podpory střední, kam se opírají dvě klenby, jsou zatíženy po obou stranách. Směr a velikost tlakové síly F působící na opěrnou konstrukci (Obr. 33) je dána zatížením zdivem podpory Q a obloukovou silou S působící v klenbě. V případě střední podpory (Obr. 34) je velikost tlaku

dána výslednicí obloukové síly klenby S_3 a vlastní váhou opěrné zdi Q . Také konstrukce podpory klenby musí vyhovovat podmínkám stability, konkrétně:

- podmínka rovnováhy v pootočení - působíště tlaku nesmí vystoupit mimo průřez a-b,
- podmínka rovnováhy v posunutí – výslednice sil F s kolmicí ke spáře a-b svírá úhel, který je menší než úhel tření zdiva φ (viz. výše),
- podmínka bezpečné pevnosti – v žádném průřezu podpory klenby nesmí být překročena pevnost zdiva v tlaku.

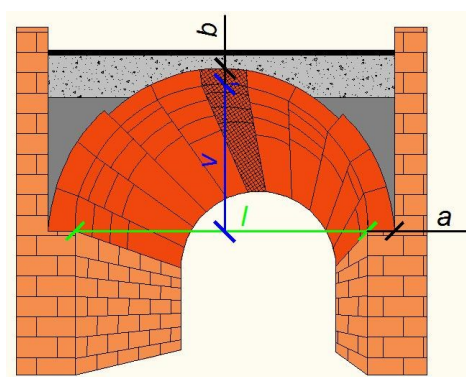


Obr. 33 Síly působící na krajní podporu klenby
[autor]



Obr. 34 Síly působící na střední podporu klenby
[autor]

Tloušťka klenby vychází z velikosti rozpětí, velikosti zatížení a materiálu. Statické řešení historických kleneb bylo často nahrazováno empirickými vzorci pro stanovení tloušťky kleneb. Nedostatkem empirických vzorců pro stanovení tloušťky klenby je značný rozptyl hodnot. Tabulky (Tab. 5, Tab. 6) uvádějí orientační tloušťky valených kleneb, které vycházejí z empirických vztahů podle [8].



- v – vzepětí klenby
- l – rozpětí klenby
- a – tloušťka klenby v patě
- b – tloušťka klenby ve vrcholu

Obr. 35 Vzepětí, rozpětí a tloušťka klenby v patě a ve vrcholu [autor]

Rozpětí l [m]	Tloušťka klenby ve vrcholu b [mm]	Tloušťka klenby v patce a [mm]
$l < 2$	150	150
$2 \leq l < 5,5$	150	300
$5,5 \leq l < 6,0$	180	450
$6,0 \leq l < 6,5$	240	450
$6,5 \leq l < 7,0$	300	600
$10,0 \leq l < 14,0$	450	600

Tab. 5 Orientační tloušťka valených kleneb pro vzepětí 1/4 rozpětí (Obr. 35) [8]

Rozpětí l [m]	Tloušťka klenby ve vrcholu b [mm]	Tloušťka klenby v patce a [mm]
$l < 4,5$	150	300
$4,5 \leq l < 5,2$	180	300
$5,2 \leq l < 6,0$	240	450
$6,0 \leq l < 7,0$	300	450 - 600

Tab. 6 Orientační tloušťka valených kleneb pro vzepětí 1/6 rozpětí (Obr. 35) [8]

5.2 Poruchy zděných kleneb

Zděná klenba ztrácí svou stabilitu v případě, kdy tlaková čára neprochází vnitřní třetinou výšky průřezu klenby. Překročením podmínky výstřednosti $e \leq t/6$ dochází v průřezu klenby ke vzniku tahových trhlin. Pokud je takto oslabený průřez klenby i nadále schopen bezpečně přenášet tlaková napětí nedochází k dalšímu šíření poruch a klenba je stabilizována. Při vzniku dalších poruch však může dojít k úplné ztrátě únosnosti klenby.

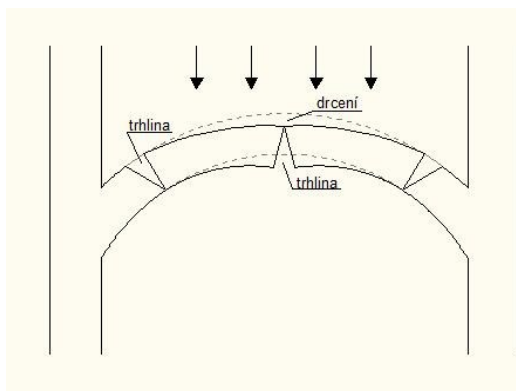
Vlivem přetížení klenby (Obr. 36), rozestupováním (rozklápěním) podpor (Obr. 37) atd. dochází k poruše průřezu klenby. V místech porušení průřezu vznikají klouby a původně staticky neurčitá konstrukce klenby se mění na staticky určitou. V průřezích klenby s největšími hodnotami tlakových napětí dochází ke vzniku tzv. nebezpečné spáry. Největší tlakové napětí působí na rubu ve vrcholu klenby. Druhá nebezpečná spára, v případě segmentového oblouku se středovým úhlem větším než 120° , je v průřezích vymezených patou klenby a rovinou procházející osou klenby, která svírá s vodorovnou rovinou úhel 30° [22].

Klenby musí být vždy pevně a stabilně podepřeny nosnými podpěrnými konstrukcemi, do nichž jsou zakotvené. Při pohybu těchto podpor dochází k deformaci klenby, která je provázena vznikem trhlin (Obr. 37). Trhliny, nacházející se na lici klenby znamenají její rozestupování, trhliny na rubu zase stlačování. Výskyt trhlin nemusí vždy znamenat ztrátu stability klenby. Klenba je schopna snést i větší deformace a po vhodné sanaci plnit svou původní funkci.

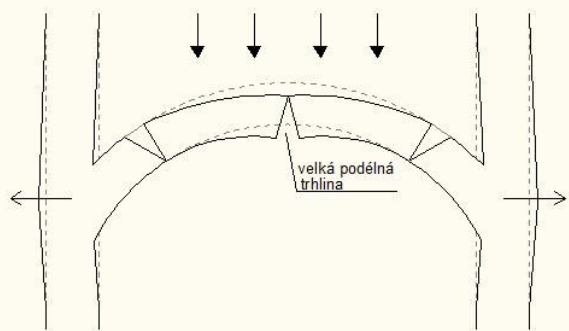
Působením teplot, vlhkosti nebo jiných vlivů dochází k narušení pojiva klenby i základního zdicího materiálu. Projevuje se tak např. zatékání do kleneb, obzvláště, pokud je na rubu klenby násyp, který akumuluje vlhkost. K dalším příčinám poruch kleneb se řadí:

- nevyhovující kvalita zdicích a spojovacích prvků,
- překročení únosnosti zdiva,
- nekvalitní provedení zdiva klenby,
- nevhodné zatížení klenby (osamělé břemeno, dynamické zatížení),
- nevhodné zásahy do zdiva podpor a do klenby (provedení otvorů, podřezávání pilířů, změna zatížení podpor, narušení stability základů atd.).

Narušení klenby, vznik trhlin a rozevírání spár negativně ovlivňuje také požární odolnost klenby. Vznik trhlin může ovlivňovat přestup tepla v konstrukci, čímž konstrukce nemusí dále vyhovovat kritériu mezního stavu izolace (I) podle ČSN 73 0810 1.[75]. Nestabilita podpor klenby za běžné pokojové teploty dále může vést k celkové ztrátě stability klenby za požáru.



Obr. 36 Porušení klenby přetížením [8]



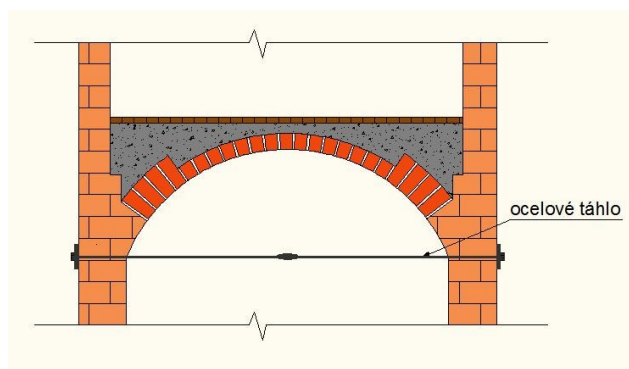
Obr. 37 Porušení klenby rozestoupením opěrných zdí [8]

5.3 Metody zesilování historických zděných kleneb

Při rekonstrukci památkově chráněných objektů dochází mnohdy k potřebě statického zajištění stávající klenby, z důvodu jejího porušení nebo z důvodů požadavku na zvýšení únosnosti klenby. K tomu se využívá v současné době několik metod, v závislosti na poruše klenbové konstrukce. Cílem rekonstrukcí a sanací kleneb je odstranění příčiny poškození a samotných poruch klenby. Použitá metoda sanace klenby závisí na míře porušení a předpokládaném způsobu jejího dalšího využití. Pokud je klenba v tak havarijním stavu, že hrozí její zřícení, je ještě před realizací všech rekonstrukčních prací, provedeno dočasné podepření klenby za pomoci vzpěr. Cílem je zajištění podpor klenby proti vodorovným a svislým posunům.

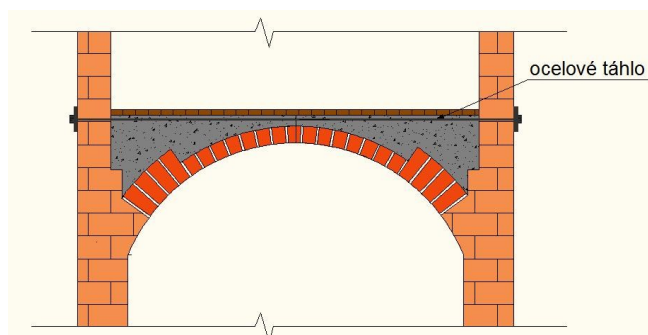
V případě rozestupujících se podpor klenby je možné realizovat ***zajištění podpor klenby*** za pomoci ocelových táhel, která jsou na koncích opatřena závitem a matkou. Jedná se o účinný způsob fixace klenby, který byl využíván již ve starověku. Z hlediska umístění táhel rozlišujeme:

- osazení táhel v patě klenby (Obr. 38) – tato varianta může narušit estetiku prostoru a snížit podchodnou výšku pod klenbou. Z hlediska požární bezpečnosti je nutné hodnotit požární odolnost samotného ocelového táhla, které je vystaveno účinkům vysokých teplot při požáru,



Obr. 38 Stabilizace klenby - táhlo v patě klenby [autor]

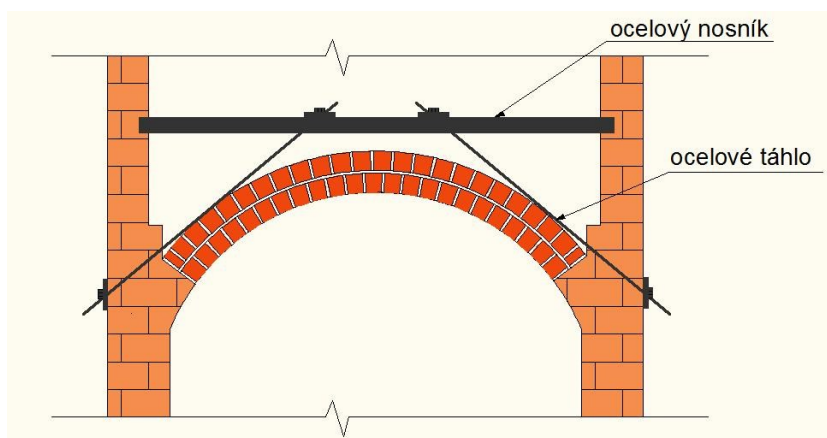
- osazení táhel na rubu klenby (Obr. 39) – ocelová táhla jsou umístěna v podlahové konstrukci. V daném případě se doporučuje umístit táhlo co nejblíže rubní strany konstrukce klenby (v místě působí rozklápěcí síly) a zvážit vliv ohybu, kterým je podpora klenby namáhána. Ocelové táhlo umístěné v rubu klenby není vystaveno vlivu vysokých teplot při požáru, jelikož je chráněno samotnou zděnou klenbou, z tohoto důvodu je technika zajištění podpor klenby za pomoci ocelového táhla umístěného v rubu klenby z hlediska hodnocení požární odolnosti klenby výhodnější, než metoda předchozí,



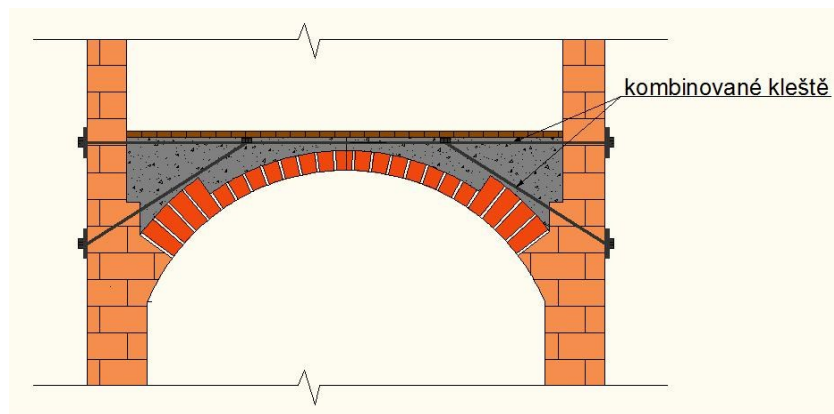
Obr. 39 Stabilizace klenby - táhlo na rubu klenby [autor]

- kombinované kleště – v tomto případě je vodorovné táhlo doplněno o šikmé prvky kotvené do opěrných zdí v patě klenby. Vodorovné táhlo je umístěno ve většině případů na rubu klenby (Obr. 41), co nejblíže místa působení rozklápěcí síly. Alternativou této metody je nahrazení vodorovného táhla ocelovým nosníkem (Obr. 40). Z hlediska požární bezpečnosti není nutné hodnotit požární odolnost

ocelového nosníku a ocelových táhel, které jsou umístěny nad zděnou klenbou a jsou chráněny vůči požáru zdivem v tloušťce min. 150 mm,

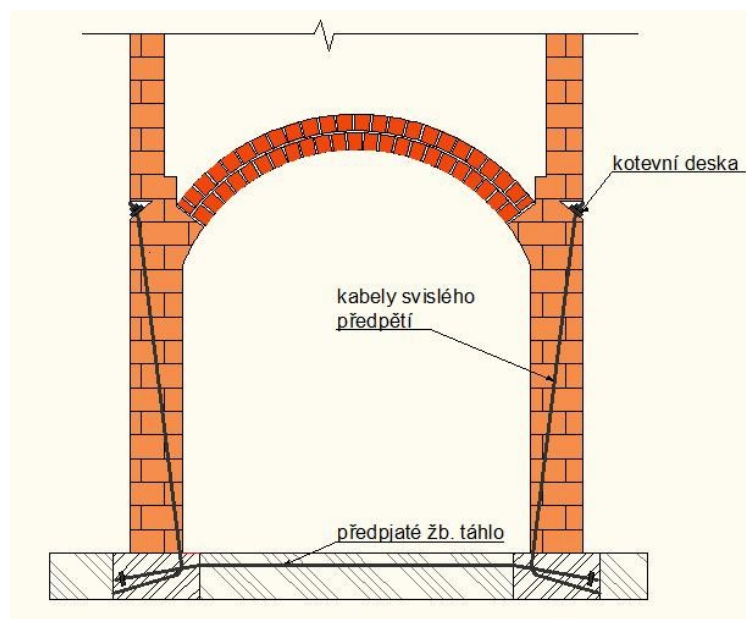


Obr. 40 Stabilizace klenby - kombinované kleště v kombinaci s ocelovým nosníkem [autor]



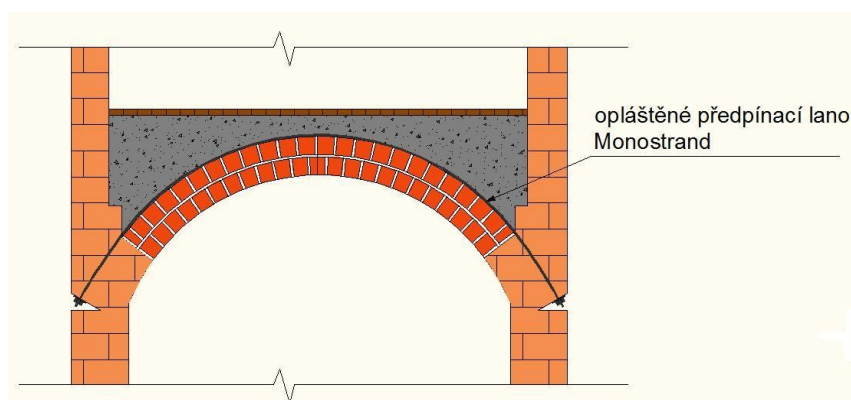
Obr. 41 Stabilizace klenby - kombinované kleště v kombinaci s táhlem [autor]

- zajištění podpor předpínáním – svislé podpory jsou zajištěny lany, která jsou uložena v podpěrném zdivu klenby (Obr. 42). Kotevní desky jsou umístěny v kapsách vyřezaných ve zdivu. V místě změny směru lan v úrovni podlahy je provedeno jejich kotvení železobetonovým předpjatým táhlem. Tento způsob rekonstrukce klenby je náročný nejen na spolehlivost statického výpočtu, ale také na přesnost provedení. Z hlediska požární bezpečnosti je nutné zajistit minimální požadované krytí pro kabely svislého předpjetí. Železobetonové táhlo umístěné v podlaze se z pohledu požární bezpečnosti nehodnotí,



Obr. 42 Stabilizace podpor klenby předepnutím [autor]

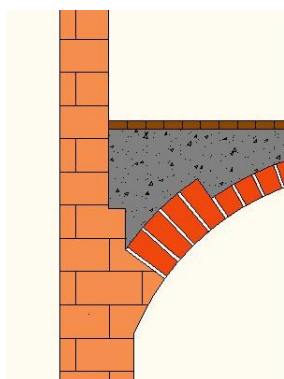
- zajištění podpor předpínáním – vychýlení stěnových pilířů je zajištěno předepjatým lanem uloženým na rubu klenby (Obr. 43). Uplatňují se např. lana typu Monostrand. Jsou to obvykle sedmidrátová lana obalena mazivem a polyetylenovou nebo polypropylenovou chráničkou. Mazivo společně s plastovým obalem zajišťuje protikorozi ochranu lan a minimální ztrátu předpínací síly vlivem tření. Z hlediska požární bezpečnosti není nutné hodnotit vliv vysokých teplot na přepínací lano.



Obr. 43 Stabilizace podpor klenby lanem [autor]

Metodu **zesílení klenby** lze využít v případě klenby s narušenou nebo málo únosnou výplní spár a uvolněnými zdíciými prvky. K degradaci pojiva může dojít v důsledku agresivního prostředí, zvýšenou vlhkostí, účinkem mrazu nebo naopak vysokých teplot, případně biologickou korozí. Ve stabilizovaných klenbách je možno vzniklé trhliny opravit *tmelením*. Otevřené spáry se sanují materiály s obdobnými vlastnostmi původní omítky. V případě degradovaného staviva je vhodné ho doplnit pomocí keramických nebo kamenných klínů včetně doplnění malty.

U vyšších kleneb byla v historii používána k zesílení konstrukce *nadezdívka klenby v její patní části* (Obr. 44). Nadezdívka přitěžuje klenbu u podpory a zesiluje uložení paty klenby ve zdivu. Klenbové nadezdívky se běžně prováděly zpravidla do 1/3 až 2/3 výšky rubu klenby (tj. vzepětí klenby v + tloušťka klenby t viz. Obr. 35) zejména u vyšších kleneb.

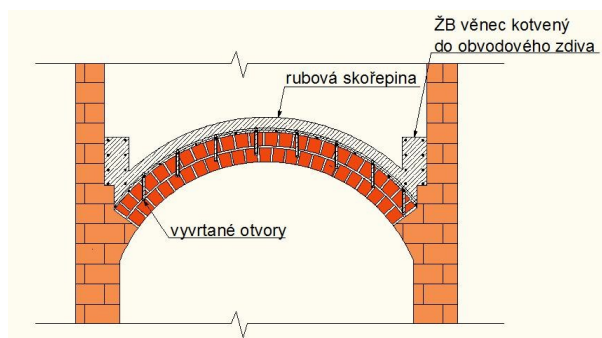


Obr. 44 Nadezdívka v patní části klenby [autor]

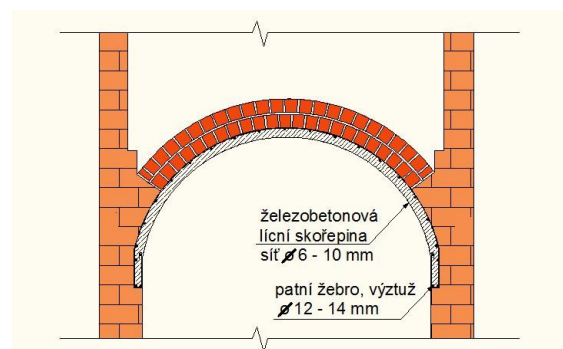
V případě, kdy je stávající klenba značně narušená nebo málo únosná je možným řešením zesílení klenby lícovou nebo rubovou železobetonovou klenutou konstrukcí skořepinového charakteru. Metoda *rubové skořepiny* se využívá pro zvýšení únosnosti při přetížení, proražení nebo ustříhnutí klenby. Rubová skořepina (Obr. 45) je železobetonová vrstva tloušťky 60 – 80 mm vybetonovaná na rubové části klenby, která na obvodu přechází do ztužujícího věnce. Při realizaci rubové skořepiny dojde k obnažení rubu klenby a k odstranění malty ve spárách klenby do hloubky cca 10 mm. Do zdíciých prvků, nikoli do spár, se vyvrtají otvory pro zakotvení spon nebo trnů, které se po vložení těchto prvků zaplní epoxidovou maltou nebo tmelem. Po zatvrdnutí se položí roznášecí výztuž, ke které se spony přivážou nebo trny

přivaří. Takto připravená výztuž se torkretuje betonem. Rubová železobetonová skořepina je velmi často využívána při rekonstrukci kleneb, ze statického hlediska však tato metoda není příliš vhodná. Železobetonová skořepina může svou vahou přetěžovat nejen původní klenbu, ale zejména její podpory a samotné základy objektu. Dalším závažným nedostatkem sanace porušené klenby rubovou skořepinou je snížení prostupnosti sanované konstrukce vzhledem k difúzi vodních par. Při rozdílných teplotách nad a pod klenbou může železobetonová konstrukce přispívat k zvyšování vlhkosti zdiva klenby, což má za následek narušování pojiva i kusového staviva. Výhodou rubové skořepiny je skrytá konstrukce a tím zachování podhledu klenby.

Rubová železobetonová skořepina je v případě požáru „chráněna“ cihelnou klenbou, která působí jako tepelně izolační vrstva. Požární odolnost klenby vyztužené rubovou železobetonovou skořepinou není v této disertační práci řešena, jelikož v době požadované požární odolnosti není pravděpodobné vystavení ocelové výztuže teplotám vedoucím k přehřátí výztuže na kritickou teplotu. Metoda vyztužení klenby rubovou železobetonovou skořepinou je z hlediska požární odolnosti dané konstrukce výhodná, jelikož dochází k zmasivnění konstrukce. Avšak vhodnost této metody z hlediska zvýšení únosnosti původní klenby je diskutabilní.



Obr. 45 Rubová železobetonová skořepina [autor]



Obr. 46 Lící železobetonová skořepina [autor]

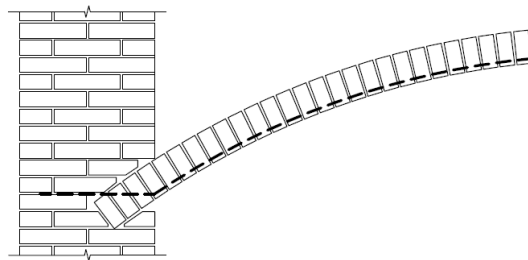
Lící železobetonová skořepina (Obr. 46) je aplikovatelná v případech, kdy nelze odkrýt stropy nad rubem klenby (např. v podzemních prostorách). Betonová, případně železobetonová konstrukce se provádí v tloušťce 60 – 100 mm. Postup prací je obdobný jako u vytvoření rubové klenby. Ztužující věnec je obvykle zapuštěn do drážky vysekané do svislé nosné konstrukce. Protože konstrukci klenby podpírá, není nutné činit žádné opatření na jejich

spolupůsobení, postačuje proniknutí torkretované směsi do vyfrézovaných spár. Řešení lícni klenby je vhodné zejména v případech, kdy zdivo stávající konstrukce klenby již podléhá destrukci. Výhodou je její snadné a rychlé provedení bez nutnosti zasahování do ostatních prostor stavby. Nevýhodou je ztráta původního podhledu, který je skryt nově vytvořenou konstrukcí. Povrch skořepiny po torkretáži je nerovný, je-li požadavkem estetický podhled je vhodné skořepinu zakrýt omítkou. Zvláštní pozornost vyžaduje posouzení účinku smršťování od vysychání betonu a účinku dotvarování betonu zesilující rubové nebo lícni klenby. Z pohledu požární bezpečnosti je nutné posoudit železobetonovou skořepinu z hlediska požární bezpečnosti. Na rozdíl od železobetonových stropních desek je výztuž ve skořepině umístěna v rubu konstrukce, krytí výztuže je tedy podstatně vyšší.

Další metodou zesílení únosnosti klenby je *dodatečně vložená šroubovicová (tzv. helikální) výztuž*. Tato metoda představuje dodatečné vlepení vysokopevnostní nerezové výztuže pomocí tmelu (tixotropní malty) do drážek a vrtů v klenbě. Výztuž se vyrábí z nerezové austenitické oceli. Do zdiva klenby jsou vyřezány nebo vyfrézovány drážky o šířce větší než je průměr výztuže, hloubky 35 – 75 mm od líce zdiva. Každý prut se kotví u podpory v samostatném vrtu, vrty jsou umístěny za sebou v jedné drážce.



Obr. 47 Helikální výztuž [117]



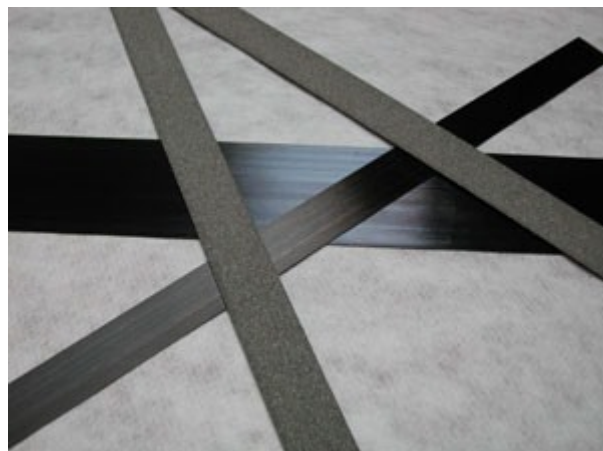
Obr. 48 Helikální výztuž detail [117]

K zesílení nejen zděných konstrukcí jsou v současné době používány *kompozitní výztuže - vlákna vyztužovaná polymery* (FRP composites). Jedná se o vysokopevnostní uhlíková, skleněná nebo kevlarová vlákna, která jsou obalena polymerní matricí. Polymerní matrice

zajišťuje polohu jednotlivých vláken a chrání je před poškozením. Kompozitní výztuže se používají ve formě tyčovitých vyztužujících prvků (Obr. 49), lamel (Obr. 50) nebo tkanin.



Obr. 49 Uhlíkové výztužné tyče [41]



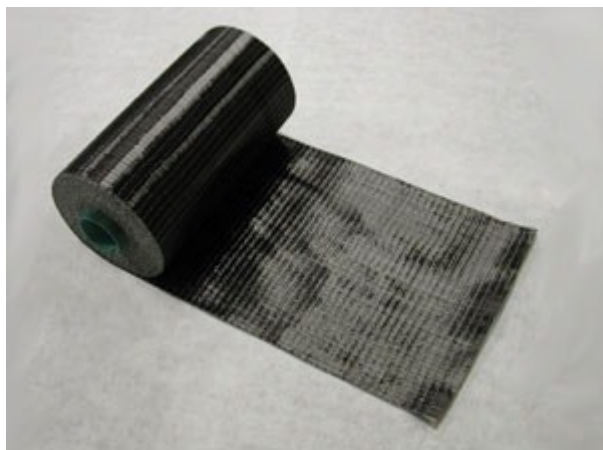
Obr. 50 Uhlíkové výztužné lamely [41]

Metoda dodatečně vkládané nepředpjaté a předpjaté kompozitní výztuže umožňuje dodatečné zesílení zděné konstrukce bez nutnosti většího zásahu do klenby. Systém se aplikuje z lící strany klenby do předem připravených drážek, soudržnost je zajištěna speciálními tmely a lepidly (obdoba helikální výztuže). Systém výztužné tkaniny se dodatečně nalepuje na rub klenby.

Výhodou metody je minimální zásah do zděné konstrukce, nepodstatné zvýšení zatížení, malý nárůst tloušťky konstrukce, rychlé provedení a energetická nenáročnost provedení. Podstatnou nevýhodou je v současné době vyšší cena. Z hlediska požární bezpečnosti je nutné hodnotit zesílené klenby, kdy je výztuž umístěna v lici konstrukce a je proti účinkům požáru chráněna pouze omítkou.

Jinou metodou zvyšování únosnosti klenbového stropu při přetížení klenby, případně zvýšení zatížení působící na klenbu, je pomocí *nové vodorovné konstrukce*. Nová konstrukce přenáší zatížení místo klenby. Osazení primární nosné konstrukce stropu se uskuteční po odstranění násypů, vybetonování železobetonového ztužujícího věnce a osazení kotvení do předem vytvořených otvorů, které se zalijí cementovou maltou. Mezi novou nosnou vodorovnou stropní konstrukcí a klenbou je ponechána provětrávaná vzduchová dutina. Při zavěšení narušené klenby na novou konstrukci prostřednictvím závěsů je nutné dimenzovat zesilující konstrukci i na zatížení od vlastní hmotnosti narušené klenby. Tento způsob sanace je vhodný

u kleneb, které alespoň částečně přenesou vlastní tíhu, nebo jsou schopny po zavěšení nadále vytvářet podhled konstrukce. Vznikem nové stropní konstrukce nebo systémem odvětrání zasahujeme do svislé nosné konstrukce.



Obr. 51 Uhlíkové výztužné tkaniny [41]



Obr. 52 Zesílení klenby pásy kompozitní tkaniny [41]

Z analýzy současných metod rekonstrukcí a sanací zděných kleneb vyplývá, že ke zvýšení požární odolnosti stávající klenby přispívá zesílení klenby za pomoci rubové železobetonové skořepiny. Tato metoda je však diskutabilní s pohledu statiky stávající konstrukce. Metody rekonstrukcí a sanací využívající umístění ztužujícího prvku (táhla, lana, nosníku) v rubu klenby není nutno z hlediska požární bezpečnosti hodnotit, jelikož ztužující komponenty nejsou vystaveny účinkům vysokých teplot. Naopak je tomu u kleneb, kde je výztuž umístěna v lici konstrukce a kryta pouze omítkou. Hodnocení požární odolnosti vybraných metod sanací a rekonstrukcí kleneb je provedeno v rámci disertační práce za pomoci vytvořené metodiky, viz. kapitola 6.

6. Návrh metodického postupu posouzení požární odolnosti kleneb

Požární odolnost rekonstruované nebo sanované klenby ovlivní řada parametrů, například statické řešení vlastního klenebního oblouku, systém vyztužení a v neposlední řadě materiálové řešení. Sanace a rekonstrukce kleneb jsou v současné době prováděny za pomoci různorodých metod a materiálů. Jak bylo uvedeno v popisu jednotlivých metod rekonstrukcí kleneb a řešení statiky klenby (viz. kapitola 5) zajišťuje ztužující prvek (např. ocelové táhlo, předpínací lano nebo železobetonová konstrukce) spolu s původní konstrukcí klenby stabilitu celé konstrukce. Dojde-li ke kolapsu ztužujícího prvku, nelze vyloučit ztrátu únosnosti celé klenby. Proto musí být na ztužující prvky kladeny odpovídající požadavky nejen z hlediska statiky, ale také z hlediska požární bezpečnosti.

Požární odolnost stávajících zděných konstrukcí i samotných kleneb lze doložit podle současně platných normových předpisů. Pro případ klenutých konstrukcí ze základního stavebního prvku cihly nebo kamene, lze stanovit požární odolnosti podle čl. 5.5.7. ČSN 73 0834 [70]. Při tloušťce klenáků 150 mm je deklarována požární odolnost REI 90 DP1, při tloušťce klenáků 250 mm je hodnota požární odolnosti klenby REI 180 DP1. Požární odolnost klenby do ocelových traverz se určuje podle požární odolnosti ocelového prvku bez ohledu na materiál a tloušťku násypu (lze vycházet z požadavků ČSN EN 1993-1-2 [80]). V normě [70] není specifikován zdící materiál kleneb, tedy zda se jedná o klenby zděné z plných pálených cihel nebo z kamene.

Hodnoty požární odolnosti rekonstruovaných a sanovaných kleneb, jejichž stabilita závisí na ztužujícím prvku, však v technických předpisech řešeny nejsou. Lze vycházet z předpokladu, že únosnost dodatečně vyztužených kleneb za zvýšených teplot bude odpovídat chování materiálů, které byly použity na jejich rekonstrukci a sanaci. V rámci disertační práce je zpracován návrh metodiky hodnocení požární odolnosti dodatečně vyztužených kleneb pro vybrané metody, u kterých je výztuž klenby umístěna v líci původní klenby, případně je výztuž umístěna ve zdivu klenby, kdy není vyloučeno působení vysokých teplot na ztužující prvek.

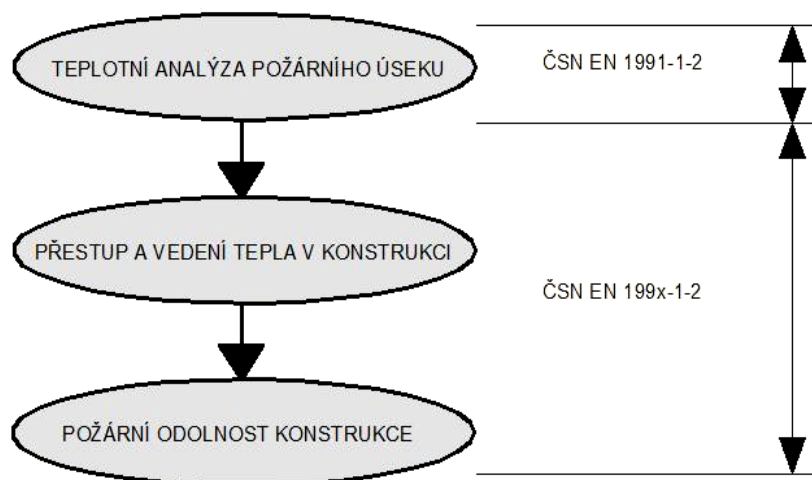
Posouzení požární odolnosti vybraných metod rekonstrukcí a sanací kleneb vychází z principu výpočtu požární odolnosti nosných stavebních konstrukcí podle Eurokódů. Jedná se o soubor norem sloužící ke statickému návrhu nosné konstrukce za běžných teplot a k návrhu konstrukcí na mimořádné účinky, k nimž řadíme požár. Návrh stavební konstrukce na účinky požáru (Obr. 53) představuje zohlednění chování konstrukčního systému při teplotách vyvíjených v průběhu požáru. V řešeném případě není uvažován vliv protipožárních opatření, tedy systému samočinného stabilního hasicího zařízení a zařízení pro odvod kouře a tepla.

VSTUPY:

- charakteristika hořl. látek
- geometrie požárního úseku
- požární zatížení

- geometrie stav. konstrukcí
- mechanické a fyz. vlastnosti materiálu

- mechanické zatížení
- teplotní zatížení
- geometrie prvku
- mechanické vlastnosti
- uložení prvku



Obr. 53 Schéma návrhu stavebních konstrukcí na účinky požáru [21]

Vlastní stanovení požární odolnosti nosných konstrukcí umožňuje kodex evropských norem EN 199x-1-2. Postupně se řeší teplotní analýza požárního úseku podle ČSN EN 1991-1-2 [77], přestup tepla a vedení tepla v konstrukci závisející na druhu materiálu, změna materiálových a průřezových parametrů při požáru a stanovení doby požární odolnosti (Obr. 53). Teplotní analýza požárního úseku se zakládá na zjednodušených nebo zdokonalených modelech požáru. Zjednodušené modely požáru, mající omezenou oblast použití, berou v úvahu předpokládané fyzikální parametry zohledňující zejména hustotu požárního zatížení a podmínky odvětrání prostoru [35]. Zdokonalené a současně zpřesněné modely požáru mj. zohledňují vlastnosti zplodin hoření, přenos hmoty a energie.

Teploty prostoru pro analýzu požární odolnosti dodatečně vyztužených kleneb jsou uvažovány podle normové teplotní křivky ISO 834 (dále jen normové teplotní křivky).

Požární odolnost dodatečně vyztužených zděných kleneb vychází ze stanovení teploty v místě výztuže určené na základě nestacionárního vedení tepla. Při výpočtu je uvažováno se změnou materiálových vlastností zdiva, konkrétně pálených zdicích prvků, podle přílohy D [81] – viz. Graf 4. Z uvedeného grafu byly pro tuto disertační práci odvozeny rovnice 1 až 6, konkrétně měrná tepelná kapacita pálených zdicích prvků o objemové hmotnosti $900 - 1\,200 \text{ kg.m}^{-3}$:

- $c_a = 564 \text{ [J.kg}^{-1}.\text{K}^{-1}]$ pro $20^\circ\text{C} < \Theta < 100^\circ\text{C}$ (1)

- $c_a = 564 \cdot (33 - 0,14\Theta) \text{ [J.kg}^{-1}.\text{K}^{-1}]$ pro $100^\circ\text{C} \leq \Theta < 200^\circ\text{C}$ (2)

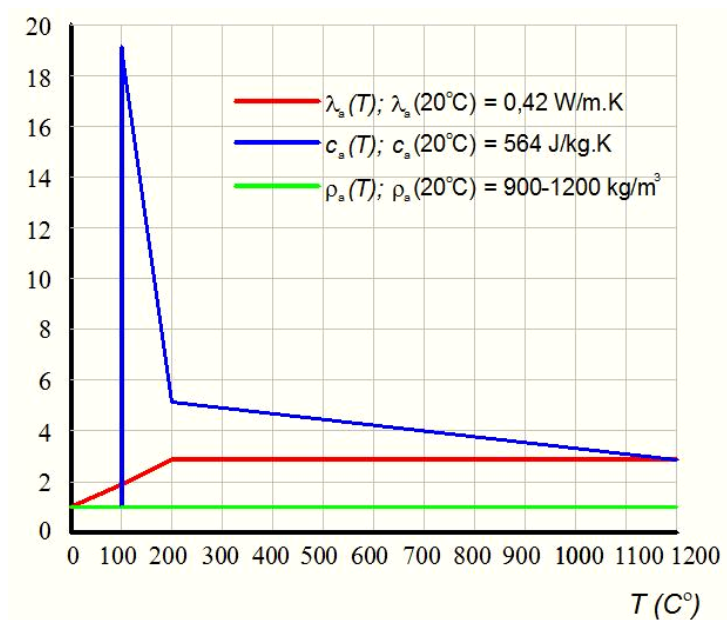
- $c_a = 564 \cdot (5,8 - 0,004\Theta) \text{ [J.kg}^{-1}.\text{K}^{-1}]$ pro $200^\circ\text{C} \leq \Theta \leq 1\,200^\circ\text{C}$ (3)

Hodnota součinitele tepelné vodivosti zdiva λ_a vzrůstá do teploty 200°C (viz. rovnice 5), dále se jeho hodnota považuje za konstantní:

- $\lambda_a = 0,42 \text{ [W.m}^{-1}.\text{K}^{-1}]$ pro 20°C (4)

- $\lambda_a = 0,42 \cdot (0,89 + 0,01\Theta) \text{ [W.m}^{-1}.\text{K}^{-1}]$ pro $20^\circ\text{C} < \Theta \leq 200^\circ\text{C}$ (5)

- $\lambda_a = 1,886 \text{ [W.m}^{-1}.\text{K}^{-1}]$ pro $\Theta \geq 200^\circ\text{C}$ (6)



Graf 4 Vliv teploty na hodnoty měrné tepelné kapacity c_a a součinitele prostupu tepla λ_a pálených zdicích prvků o objemové hmotnosti v rozmezí $900 - 1200 \text{ kg/m}^3$ [81]

Hodnoty součinitele přestupu tepla a měrné tepelné kapacity zdiva v závislosti na teplotě, které jsou uvedeny v příloze D Eurokódu 6 [81] jsou stanoveny na základě pouze několika zkoušek [81]. V dané oblasti je tedy nutné provádět další výzkum, který by přinesl vstupní data pro posouzení požární odolnosti zděných konstrukcí podrobnějším výpočtem. Z tohoto důvodu také nejsou v disertační práci řešeny dodatečně vyztužené klenby z přírodního kamene. Pro pískovec, opuku nebo žulu nebyly v dostupných literárních zdrojích dohledány akceptovatelné parametry změn objemové hmotnosti, tepelné vodivosti a měrné tepelné kapacity v závislosti na teplotě.

Přestup a vedení tepla v konstrukci a následné posouzení požární odolnosti klenby vychází z kodexu norem ČSN 199x-1-2, konkrétně:

- dodatečně vyztužené klenby za pomoci ocelového táhla umístěného na líci klenby je možno řešit podle ČSN 1993-1-2 [80],
- klenby vyztužené lící železobetonovou skořepinou je možno řešit podle ČSN 1992-1-2 [78],
- zbývající metody dodatečného vyztužení klenby, kdy je ztužující prvek umístěn v líci klenby, je možno z hlediska požární odolnosti hodnotit na základě prostupu tepla zděnou klenbou, kdy jsou zohledněny změny tepelně technických vlastností zdiva v závislosti na teplotě podle ČSN EN 1996-1-2 [81].

Podmínky spolehlivosti při posouzení požární odolnosti vyztužených zděných klenb jsou stanoveny z hlediska teploty, kdy jsou sledovány zejména teploty ztužujících prvků:

$$\Theta_d \leq \Theta_{d,cr} , \quad (7)$$

kde Θ_d je návrhová teplota materiálu [°C],

$\Theta_{d,cr}$ je návrhová hodnota kritické teploty materiálu [°C].

Výpočtem nestacionárního jednosměrného vedení tepla v zděné klenbě jsou určeny teploty v místě výztuže klenby. Jednorozměrné vedení tepla ve směru osy x je vyjádřeno Fourierovou diferenciální rovnicí (Rov. 8). Pro řešení je využito metody konečných rozdílů, při níž se rovinná stěna rozdělí na stejně široké vrstvy o šířce Δx . Hranice mezi vrstvami tvoří vnitřní výpočetní roviny, povrchy stěny představují okrajové výpočtové roviny. Při využití metody konečných rozdílů má Fourierova rovnice tvar:

$$\frac{dT}{dt} = a \frac{d^2T}{dx^2}, \quad (8)$$

kde	dT	je	přírůstek teploty [$^{\circ}\text{C}$]
	dt		přírůstek času [s]
	dx		tloušťka dílčí vrstvy materiálu [m]
	a		součinitel teplotní vodivosti [$\text{m}^2 \cdot \text{s}^{-1}$]

Součinitel teplotní vodivosti lze vyjádřit podle:

$$a = \frac{\lambda}{c\rho}, \quad (9)$$

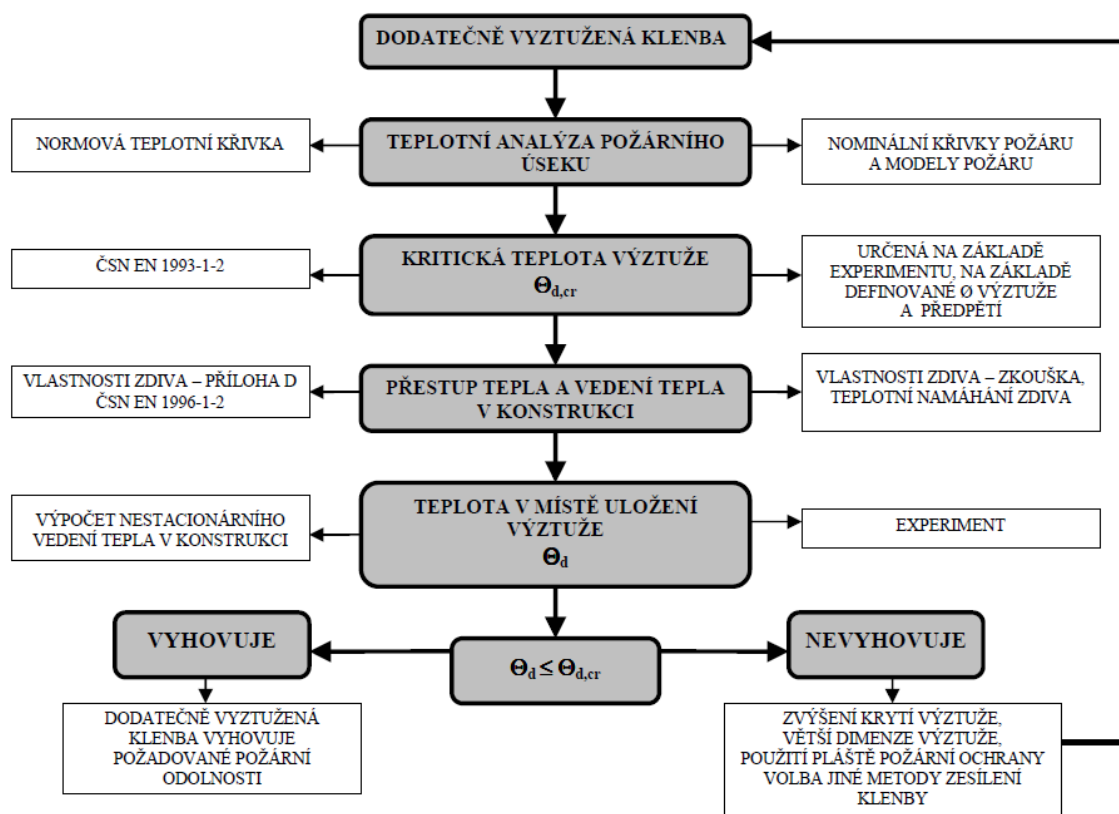
kde	λ	je	součinitel tepelné vodivosti [$\text{W} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$]
	c		měrná tepelná kapacita [$\text{J} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$]
	ρ		objemová hmotnost [$\text{kg} \cdot \text{m}^{-3}$]

Při výpočtu jsou uvažovány okrajové podmínky III. druhu, kdy je povrch konstrukce obklopen prostředím o dané teplotě s daným součinitelem přestupu tepla. Součinitel přestupu tepla při tepelném namáhání podle normové teplotní křivky má hodnotu $25 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{K}^{-1}$ podle ČSN EN 1991-1-2 [77].

Pro posouzení požární odolnosti vyztužených kleneb bylo uvažováno s využitím softwaru ATENA. Program byl vyvinut pro simulaci chování betonových a železobetonových konstrukcí, pracuje s matematickým modelem nelineární MKP analýzy. Software ATENA umožňuje kombinaci teplotní a statické analýzy prvku. Výpočet je rozčleněn na tři části. V první jsou stanoveny okrajové podmínky při počáteční teplotě 25°C . V další části dochází k nárůstu teploty uvnitř prvku po 50°C až k 500°C , přičemž teplota prvku na odvrácené straně požáru je konstantní. V poslední fázi je teplota uvnitř prvku i na jeho povrchu považována za konstantní. Výpočetní program ATENA nebyl pro posouzení požární odolnosti dodatečně vyztužených kleneb využit z důvodu nutnosti statického posouzení konstrukce. Statické řešení historické klenby není vždy provedeno, tedy pro posouzení požární odolnosti dodatečně vyztužených kleneb za pomoci programu ATENA scházely vstupní údaje výpočtu.

Jako další pomůcky pro výpočet požární odolnosti byly voleny výpočetní programy AREA 2011 a Agros2D. Program AREA 2011 je určen pro komplexní hodnocení stavebních detailů

z hlediska dvourozměrného stacionárního vedení tepla. Program však neumožňuje zadání změn vlastností stavebních materiálů v závislosti na teplotě. Umožňuje pouze výpočet přestupu tepla stavební konstrukcí za konstantních teplot okolního prostředí konstrukce. Program AREA 2011 se používá zejména pro posouzení tepelných mostů. Software Agros2D, univerzální multiplatformní aplikace určená pro řešení fyzikálních polí, také neumožňuje zadání změn vlastností materiálu v závislosti na teplotě.



Obr. 54 Schéma posouzení dodatečně vyztužené zděné klenby na účinky požáru [autor]

Analýza přestupu tepla bude provedena pomocí výpočetního programu pro teplotní analýzu průřezů vystavených účinkům požáru Temp Analysis, version 1.0 (dále jen TA 1.0). Program umožňuje výpočet přestupu tepla stavební konstrukcí libovolných stavebních materiálů. Materiálové charakteristiky mohou být zadány konstantní pro celý průběh teplotního namáhání, nebo jsou hodnoty materiálových charakteristik zadány v závislosti na teplotě. Při výpočtu je teplotní zatížení charakterizováno normovou teplotní křivkou. Program umožňuje určení teploty v předem definované šířce průřezu konstrukce. Je tedy možné určit teplotu v místě uložení výztuže klenby. Autorem programu je Ing. Radek Štefan, odborný asistent ČVUT Praha. Program je volně dostupný na [106]. Pro hodnocení přestupu tepla vícevrstvou konstrukcí je využit software Ansys.

Na základě základního schématu návrhu stavební konstrukce na účinky požáru (Obr. 53) byl v rámci disertační práce navržen a sestaven metodický postup posouzení požární odolnosti dodatečně vyztužených kleneb (Obr. 54). V levé části diagramu jsou uvedeny vstupní hodnoty výpočtu, které jsou v současné době dostupné v českých technických normách nebo odborné literatuře. V pravé části diagramu je uveden postup při podrobném posouzení požární odolnosti klenby, který vede k získání přesnějších hodnot pro jednotlivé konkrétní případy vyztužení klenby.

6.1 Aplikace metodiky - ocelové táhlo umístěné v líci klenby

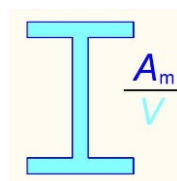
Požární odolnost nechráněných ocelových prvků lze zjednodušeně určit pomocí metodiky, která je uvedena v normě ČSN 73 0810 [69]. Na základě rozměrů nosného prvku a stupně využití průřezu jsou stanoveny hodnoty požární odolnosti. Za kritickou teplotu lze považovat:

- 500 °C u sloupů, nosníků, průvlaků, vazníků atd. zajišťujících stabilitu objektu nebo jeho části,
 - 560 °C u zavětrovacích prvků, střešních nosníků, vaznic, krokví nebo prvků střešních plášťů, roštových podlahových prvků apod.,
 - 620 °C u nosných prvků obvodových plášťů, které nezajišťují stabilitu objektu.
- [69]

Kritická teplota oceli $\theta_{a,cr}$	Stupeň využití průřezu μ_0	Požární odolnost v minutách							
		Součinitel průřezu $A_m/V[m^{-1}]^*$							
		50	75	100	125	150	200	300	450
500 °C	0,78	R20	R16	R14	R12	R11	R9	R8	R6
560 °C	0,58	R24	R18	R15	R14	R12	R11	R9	R7
620 °C	0,40	R27	R21	R18	R16	R14	R12	R11	R9

Tab. 7 Požární odolnost nechráněných ocelových sloupů a nosníků [26]

* součinitel průřezu nechráněných ocelových prvků se stanoví podílem obvodu průřezu A_m k průřezové ploše prvku V .



Obr. 55 Příklad stanovení součinitele průřezu nechráněných ocelových prvků [autor]

Ocelová táhla využívaná k zajištění podpor klenby, která jsou umístěná v lici konstrukce (Obr. 38) jsou vystavena účinkům požáru. Požární odolnost tohoto ztužujícího prvku je posouzena podle ČSN EN 1993-1-2 [80] pro tepelné namáhání podle normové teplotní křivky.

Stupeň využití $\mu_0 = 0,65$ pro posouzení požární odolnosti, prvků namáhaných především tahem, lze stanovit podle [80]:

$$\mu_0 = \eta_{fi}(\gamma_{M,fi} / \gamma_{M,1}), \quad (10)$$

kde η_{fi} je redukční součinitel účinků zatížení $\eta_{fi} = 0,65$ [80]
 $\gamma_{M,fi}$ dílčí součinitel materiálu $\gamma_{M,fi} = 1,0$ [80]
 $\gamma_{M,1}$ dílčí součinitel únosnosti při posuzování stability prutů $\gamma_{M,1} = 1,0$ [79]

Kritická teplota $\Theta_{a,cr}$ táhla stanovená na základě stupně využití [80] má hodnotu 540 °C:

$$\Theta_{d,cr} = 39,19 \ln \left[\left(1 / 0,9674 \cdot \mu_0^{3,833} \right) - 1 \right] + 482 \quad (11)$$

Na základě kritické teploty a stupně využití lze určit podle [79] mezní průřezové charakteristiky nechráněných ocelových prvků pro požadovanou požární odolnost podle rovnice určující rovnoměrné rozdělení teploty $\Theta_{a,t}$ po krátkých časových krocích Δt v nechráněném ocelovém prvku:

$$\Delta \Theta_{a,t} = k_{sh} \frac{A_m / V}{c_a \cdot \rho} \cdot \dot{h}_{net,d} \cdot \Delta t, \quad (12)$$

kde A_m/V je součinitel průřezu ocelového prvku [m^{-1}] (viz. Obr. 55)
 $\dot{h}_{net,d}$ návrhová hodnota tepelné pohltivosti na jednotku plochy [$W \cdot m^{-2}$]
 c_a měrná tepelná kapacita oceli, $c_a = 600$ [$J \cdot kg^{-1} \cdot K^{-1}$]
 ρ objemová hmotnost oceli, $\rho = 7\,850$ [$kg \cdot m^{-3}$]
 k_{sh} opravný součinitel zastínění, $k_{sh} = 1$ [80]

V časových intervalech kratších než 5 sekund byly určeny maximální součinitele průřezu nechráněných ocelových táhel plného kruhového a obdélníkového průřezu vyhovující požadované požární odolnosti 15 a 20 minut:

- R 15 $A_m/V = 100 \, m^{-1}$
- R 20 $A_m/V = 50 \, m^{-1}$

Ocelová táhla kruhového průřezu o průměru min. 40 mm vyhoví požární odolnosti 15 minut. Ocelová táhla čtvercového plného průřezu vyhoví požární odolnosti R 15 při minimální šířce strany 40 mm. Pro požadavek vyšší požární odolnosti navrhuji ocelová táhla chránit protipožárním nátěrem nebo nástřikem.

6.2 Aplikace metodiky - lícni železobetonová skořepina

Únosnost železobetonové konstrukce je dána spolupůsobením betonu a ocelové výztuže vložené do míst s tahovým napětím. Krycí vrstva betonu v případě požáru chrání ocelovou výztuž před účinky vysokých teplot a zajišťuje spolupůsobení betonu a výztuže. Ocel je na účinky vysokých teplot citlivější než beton. Kritická teplota betonářské výztuže je $\Theta_{cr} = 500\text{ }^{\circ}\text{C}$. V případě předpjatého betonu je betonářská výztuž citlivější a kritická teplota pro předpínací pruty je $\Theta_{cr} = 400\text{ }^{\circ}\text{C}$, pro předpínací dráty a lana $\Theta_{cr} = 350\text{ }^{\circ}\text{C}$ [78]. Uvedené hodnoty jsou využity při návrhu požární odolnosti železobetonové skořepiny. Přesnější hodnoty kritické teploty výztuže lze vypočítat na základě napětí ve výztuži za požáru a hodnoty redukčního součinitele $k_{s,\Theta_{cr}}$, $k_{p,\Theta_{cr}}$. Při zvyšování teploty vlivem rozdílných hodnot teplotní roztažnosti betonu a výztuže dochází ke vzniku napětí, čímž se naruší soudržnost výztuže s betonem.

Je předpokládáno, že požární odolnost dodatečně vyztužená zděná klenba za pomoci železobetonové skořepiny, která je umístěna na lici klenby je hodnocena podle požární odolnosti samotné železobetonové skořepiny. Statické spolupůsobení skořepiny a zděné klenby je při řešení požární odolnosti zanedbáno a předpokládá se, že při porušení železobetonové skořepiny dojde k porušení klenby. Z toho vychází možnost zanedbání statické funkce původní klenby a betonové vrstvy vlastní skořepiny. Požární odolnost bude tedy hodnocena na základě selhání výztuže železobetonové skořepiny a to metodou překročení kritické teploty výztuže.

Při hodnocení požární odolnosti konstrukce je možné vycházet z tabulkových hodnot uvedených v [78]. V případě lícni železobetonové skořepiny je tloušťka konstrukce 60 – 100 mm. Pro hodnocení požární odolnosti klenby dodatečně vyztužené za pomoci rubové skořepiny je důležité dostatečné krytí výztuže. Tab. 8 udává minimální osovou vzdálenost výztuže od povrchu skořepiny.

Z tabulkových hodnot lze stanovit požární odolnost klenby dodatečně vyztužené železobetonovou skořepinou (výztuž působí ve dvou směrech) na líci klenby:

- při tloušťce skořepiny min. 60 mm a osovém krytí výztuže 10 mm REI 30
- při tloušťce skořepiny min. 100 mm a osovém krytí výztuže 15 mm REI 90

Normová požární odolnost	Osová vzdálenost a [mm]		
	Působící v jednom směru	Působící ve dvou směrech	
		$l_x/l_y < 1,5$	$l_x/l_y > 1,5$
REI 30	10	10	10
REI 60	20	10	15
REI 90	30	15	20

Tab. 8 Minimální osově vzdálenosti výztuže působící v jednom a ve dvou směrech od povrchu skořepiny [78]

Požární odolnost klenby vyztužené železobetonovou skořepinou je v rámci disertační práce posouzena dále jednoduchou výpočetní metodou podle [78], kdy se za pomoci stanovení teplotního pole odečte teplota v osách výztuže. Porušení výztuže se uvažuje v čase dosažení kritické teploty 350 °C podle [78]. Přesnou hodnotu kritické teploty výztuže lze stanovit výpočtem podle stupně využití železobetonové skořepiny.

Tepelně technické vlastnosti betonu se uvažují podle [78] v závislosti na teplotě. Konkrétně měrná tepelná kapacita betonu se silikátovým a vápencovým kamenivem:

$$c = 900 \text{ [J.kg}^{-1}.\text{K}^{-1}] \quad \text{pro } 20 \text{ °C} < \Theta \leq 100 \text{ °C} \quad (13)$$

$$c = 900 + (\Theta - 100) \text{ [J.kg}^{-1}.\text{K}^{-1}] \quad \text{pro } 100 \text{ °C} < \Theta \leq 200 \text{ °C} \quad (14)$$

$$c = 1000 + (\Theta - 200)/2 \text{ [J.kg}^{-1}.\text{K}^{-1}] \quad \text{pro } 200 \text{ °C} < \Theta \leq 400 \text{ °C} \quad (15)$$

$$c = 1100 \text{ [J.kg}^{-1}.\text{K}^{-1}] \quad \text{pro } 400 \text{ °C} < \Theta \leq 1200 \text{ °C} \quad (16)$$

Součinitel tepelné vodivosti betonu λ klesá se vzrůstající teplotou. Lze jej definovat horní a spodní hodnotou:

- horní hodnota

$$\lambda = 2 - 0,2451(\Theta/100) + 0,01070(\Theta/100)^2 \text{ [W.m}^{-1}.\text{K}^{-1}] \quad \text{pro } 20 \text{ °C} < \Theta \leq 1200 \text{ °C} \quad (17)$$

- spodní hodnota

$$\lambda = 1,36 - 0,136(\Theta/100) + 0,0057(\Theta/100)^2 \text{ [W.m}^{-1}.\text{K}^{-1}] \quad \text{pro } 20 \text{ °C} < \Theta \leq 1200 \text{ °C} \quad (18)$$

Ztrátou vody obsažené v betonu dochází ke změně objemové hmotnosti materiálu. Pro výpočty je uvažováno:

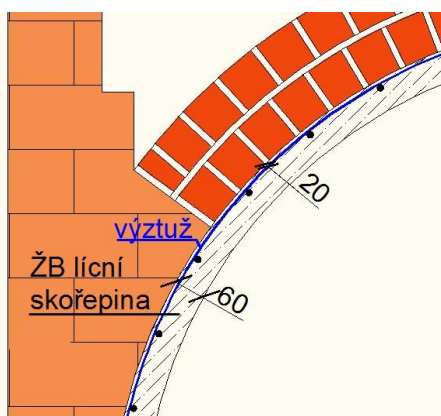
- $\rho = 2100 \text{ kg.m}^{-3}$ pro $20^\circ\text{C} < \Theta \leq 115^\circ\text{C}$ (19)

- $\rho = 2100 [1 - 0,02(\Theta - 115)/85] \text{ [kg.m}^{-3}]$ pro $115^\circ\text{C} < \Theta \leq 200^\circ\text{C}$ (20)

- $\rho = 2100 [0,98 - 0,03(\Theta - 200)/200] \text{ [kg.m}^{-3}]$ pro $200^\circ\text{C} < \Theta \leq 400^\circ\text{C}$ (21)

- $\rho = 2100 [0,95 - 0,07(\Theta - 400)/800] \text{ [kg.m}^{-3}]$ pro $400^\circ\text{C} < \Theta \leq 1200^\circ\text{C}$ (22)

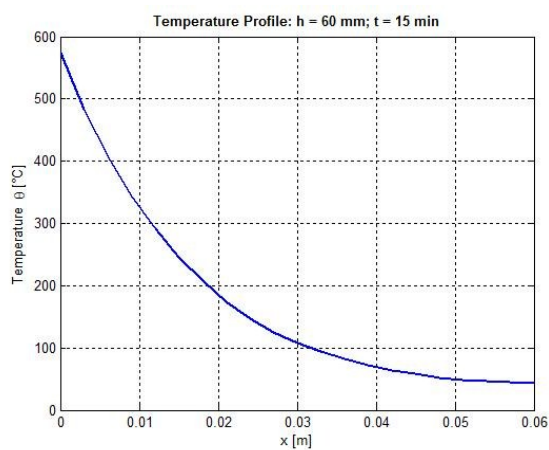
Posouzení požární odolnosti klenby vyztužené lící železobetonovou skořepinou tl. 60 mm vychází z předpokladu umístění výztuže ve vzdálenosti 40 mm od povrchu (viz. Obr. 56), teplotní namáhání je uvažováno podle normové teplotní křivky ISO 834. Změny materiálových vlastností podle teploty jsou stanoveny podle Rov. 13 až Rov. 22.



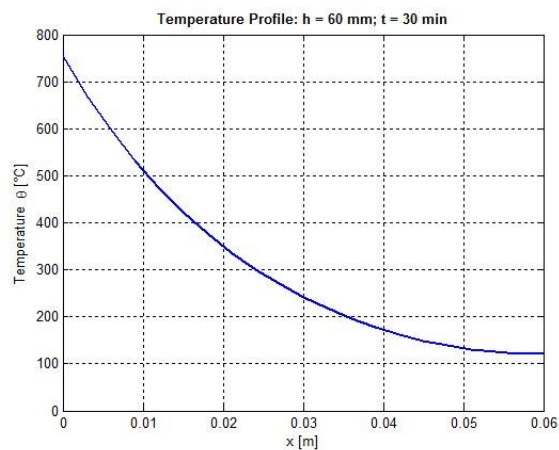
Obr. 56 Detail umístění výztuže v železobetonové lící skořepině [autor]

Výpočet nestacionárního vedení tepla byl v této práci proveden za pomoci dvou softwarů, jednak pomocí programu TA 1.1, který zanedbává vrstvu zdiva nad železobetonem a omítku, dále programem Ansys. Z důvodů posouzení vlivu další vrstvy materiálu na vedení tepla stavební konstrukcí jsou níže uvedeny oba výpočty.

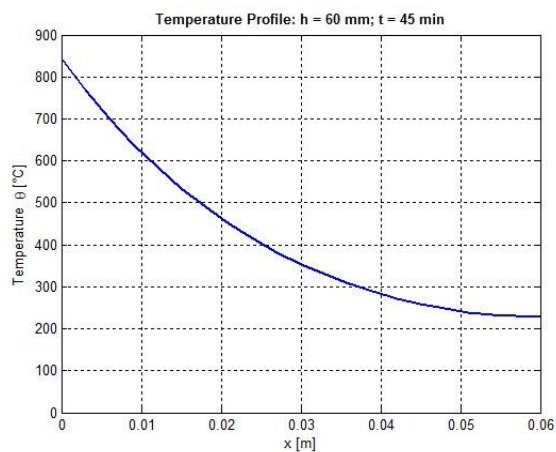
Výpočtem nestacionárního vedení tepla za pomoci programu TA 1.1 byly určeny teplotní profily železobetonové skořepiny tloušťky 60 mm v čase $t = 15$ minut, $t = 30$ minut, $t = 45$ minut a $t = 60$ minut (viz. Graf 5 - Graf 9).



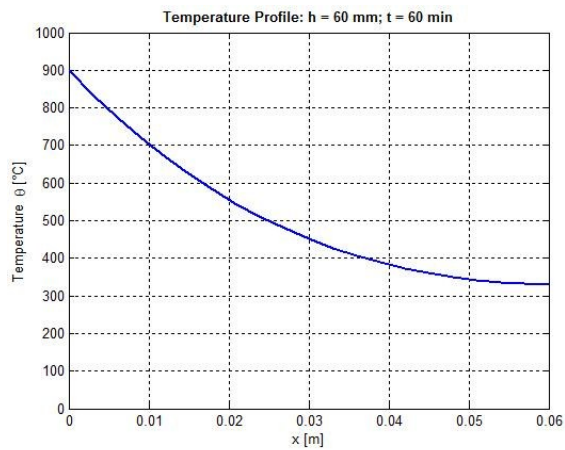
Graf 5 Teplotní profil železobetonové skořepiny $h = 60$ mm v čase $t = 15$ minut [autor]



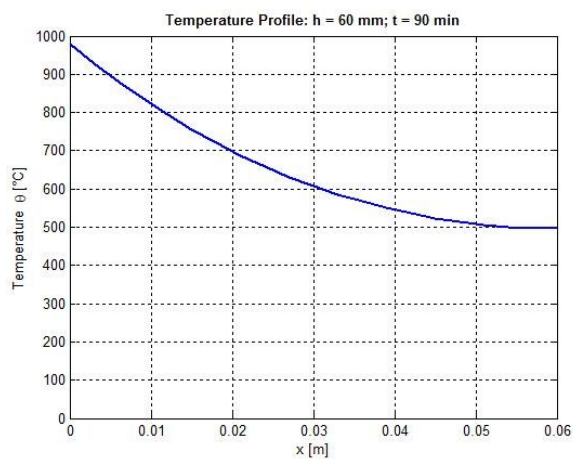
Graf 6 Teplotní profil železobetonové skořepiny $h = 60$ mm v čase $t = 30$ minut [autor]



Graf 7 Teplotní profil železobetonové skořepiny $h = 60$ mm v čase $t = 45$ minut [autor]



Graf 8 Teplotní profil železobetonové skořepiny $h = 60$ mm v čase $t = 60$ minut [autor]



Graf 9 Teplotní profil železobetonové skořepiny $h = 60$ mm v čase $t = 90$ minut [autor]

Čas [min]	Teplota v místě výztuže [°C]
15	70
30	173
45	283
60	383
90	545

Tab. 9 Teplota železobetonové skořepiny v místě výztuže v závislosti na čase [autor]

Posouzení požární odolnosti lící železobetonové skořepiny tl. 60 mm bylo provedeno na základě překročení kritické teploty výztuže (viz. Rov. 7). U lící železobetonové skořepiny tl. 60 mm, kdy je výztuž umístěna ve vzdálenosti 40 mm od povrchu, je požární odolnost 60 minut (R 60). Podle této metody byly získány hodnoty v Tab. 10.

Tl. železobetonové lící skořepiny [mm]	Požární odolnost R [min]
60	45
70	60
80	90
90	90
100	120

Tab. 10 Požární odolnost železobetonové lící skořepiny [autor]

Stejnou metodou byly určeny hodnoty požární odolnosti dodatečně vyztužené klenby za pomoci lící železobetonové skořepiny, kdy teplota v místě uložení výztuže byla určena výpočtem v programu Ansys.

Teplota v místě uložení výztuže [°C]	Železobetonová lící skořepina tloušťky [mm]				
Čas [min]	60	70	80	90	100
15	32	25	22	20	20
30	91	63	45	34	28
45	153	117	86	64	48
60	197	159	129	99	76
90	267	222	186	157	133
120	325	273	232	199	172

Tab. 11 Teplota v místě uložení výztuže [autor]

Z výpočtů přestupu tepla vyztuženou klenbou a stanovení teploty v místě uložení výztuže za pomoci programu Ansys, kdy bylo uvažováno s vrstvou vápenocementové omítky tl. 10 mm, lící železobetonovou skořepinou tl. 60 a zdivem tl. 150 mm byla stanovena požární odolnost R 120. Dodatečně vyztužené klenby lící železobetonovou skořepinou tl. 70 až 100 mm vyhovují požadavku požární odolnosti R 180.

Při porovnání hodnot získaných výpočtem za pomoci softwaru Ansys s výslednými hodnotami softwaru TA 1.1 je zřejmé, že pokud výpočet nestacionárního vedení tepla provedeme pouze v jedné vrstvě stavební konstrukce nezískáme přesné hodnoty. Pro stanovení teploty v místě uložení výztuže lze využít softwarové podpory, která splňuje následující požadavky:

- software umožňuje výpočet jednorozměrného nestacionárního vedení tepla,
- pro stanovení rozložení teplot v prostoru lze využít minimálně teplotní analýzu podle normové teplotní křivky (pro detailní výpočet je vhodné možnost zadání teplotní analýzy podle jednoduchých modelů požáru),
- software umožňuje zadání vlastností stavebních materiálů a jejich změn v závislosti na nárůstu teploty,
- software umožňuje výpočet nestacionárního vedení tepla vícevrstvou konstrukcí,
- teplotu v konstrukci lze stanovit po předem nastavených krocích, případně v konkrétní vzdálenosti od líce konstrukce.

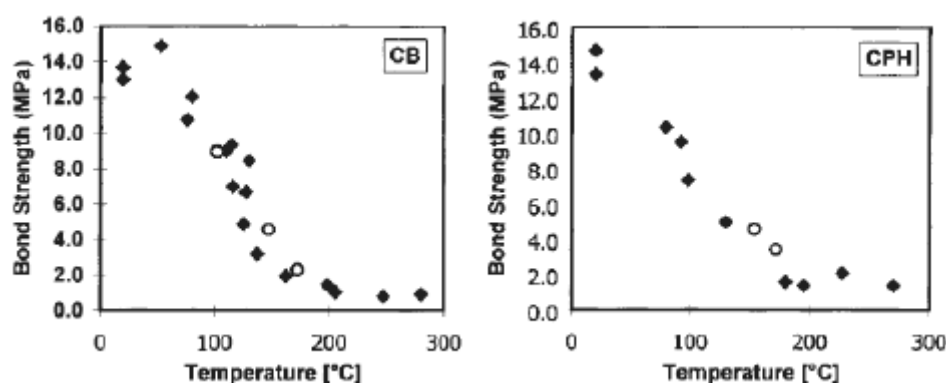
6.3 Aplikace metodiky - výztuž umístěná v líci klenby

Metody zesílení klenby, které využívají táhla, lana nebo kompozitní výztuže na rubu klenby jsou z hlediska požární odolnosti hodnoceny na základě dosažení kritické teploty výztuže železobetonové skořepiny. Při řešení této disertační práce byla k výpočtu využita přesnější výpočetní metoda využívající výpočetní modely pro stanovení průběhu a rozložení teplot ve stavební konstrukci podle přílohy D ČSN EN 1996-1-2 [81]. Vlastnosti zdiva z pálených cihel, v závislosti na teplotě jsou převzaty z Graf 4 (viz. kapitola 6). Pro jednotlivé materiály vyztužovacích prvků je pro požadovanou požární odolnost určeno minimální krytí.

Kritické teploty jednotlivých ztužujících prvků vycházejí z ČSN EN 1993-1-2 [78] a zahraniční literatury, viz. následující přehled:

- ocelové lano 350°C [80]
- helikální výztuž 350°C [80]
- kompozitní materiály 250°C [97]

Kritická teplota kompozitních materiálů je závislá jak na materiálu matrice daného kompozitu, tak materiálu jeho výztužné fáze. Proto nelze kritickou teplotu kompozitních výztuží zobecnit. V rámci této disertační práce je pro kompozitní materiály volena kritická teplota podle [97], která vychází ze zkoušek 4 typů kompozitních tyčových výztuží. Experiment byl proveden pro výztuže složené ze skleněných vláken s polymerní matricí tvořenou vinylesterem, modifikovaným vinylesterem a polyesterem. Průměr výztuže byl přibližně 12 mm [98]. Podle provedených zkoušek bylo stanoveno, že chování těchto kompozitních výztuží za zvýšených teplot je závislé zejména na použité polymerní matrici (Obr. 57). Při uvedeném výpočtu požární odolnosti klenby vyztužené FRP kompozity je považována za kritickou teplotu výztuže teplota 250°C.

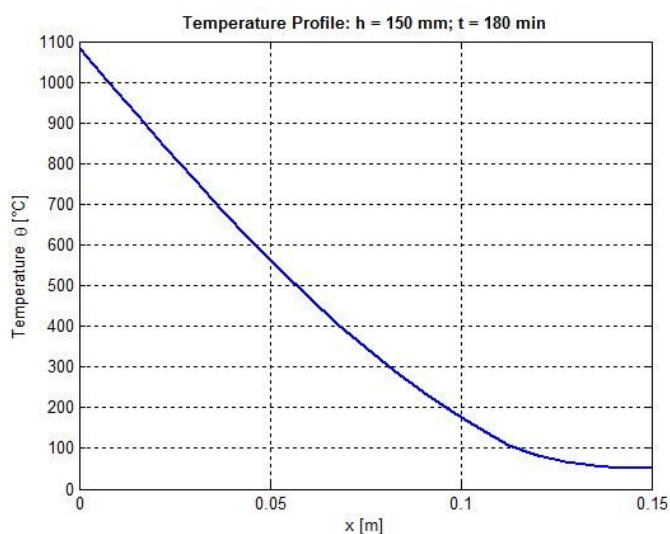


Obr. 57 Závislost pevnosti kompozitních výztuží na teplotě podle [97]

Pro bližší určení kritické teploty kompozitní výztuže je nutné provést velkorozměrové požární zkoušky, a to pro jednotlivé typy kompozitní výztuže bez předpětí a při definovaném předpětí. V současné době společnost Prefa – kompozity, a.s. ve spolupráci s VUT v Brně vyvíjí tzv. žáruvzdorné vláknové kompozity. Cílem výzkumného projektu jsou kompozitní materiály aplikovatelné na konstrukcích s pracovní teplotou až 400°C [113]. Pozitivní výsledky tohoto výzkumu by mohly být využitelné i pro vývoj výztuží konstrukce kleneb.

Klenby vyztužené za pomoci *ocelového lana, táhla, lana Monostrand a kompozitní výztuže, která je umístěna na rubu klenby*, vyhovují požární odolnosti 180 minut (R 180), což dokládá níže uvedený výpočet přestupu tepla a stanovení teploty na rubu klenby tloušťky 150 mm v 180 minutě požáru podle normové teplotní křivky. Pomocí výpočtů provedených v rámci této disertační práce bylo prokázáno, že teplota v místě uložení výztuže bude mít hodnotu 50°C, nepřesáhne tudíž kritickou teplotu výztuže – viz. Graf 10. Teplota byla stanovena

pro 180 minutu teplotního namáhání podle normové teplotní křivky. Uvažována byla objemová hmotnost zdících prvků 1000 kg.m^{-3} , změny měrné tepelné kapacity a teplotní vodivosti v závislosti na teplotě byly stanoveny podle rovnic 1 – 6. Výsledky řešení a stanovení hodnot požární odolnosti zděné klenby odpovídají tabulkovým údajům požární odolnosti zděných konstrukcí uvedeným v příloze normy ČSN EN 1996-1-2 [81], což znamená, že pro posouzení požární odolnosti zděné klenby bez výztuže lze využít tabulkových hodnot.



Graf 10 Teplotní profil zděné klenby tl. 150 mm, $t = 180$ minut [autor]

Posouzení požární odolnosti dodatečně *vyztužené klenby za pomoci tzv. helikální výztuže* bylo v disertační práci provedeno na základě dosažení kritické teploty výztuže $\Theta_{d,cr} = 350^\circ\text{C}$. Helikální výztuž se do klenby umísťuje do vyfrézovaných drážek hloubky 35 až 75 mm. Tloušťka drážky závisí na počtu použitých výztuží. Soudržnost výztuže se zdivem je zajištěna pomocí kotevní malty – modifikovaná polymer cementová směs. Při řešení bylo uvažováno, že kotevní malta nezajišťuje krytí výztuže, krycí vrstvu helikální výztuže zajišťuje pouze omítka. Pro výpočet požární odolnosti je v rámci disertační práce navrhována tloušťka omítky vápenocementové nebo perlitové 10, 20, 30 a 40 mm (viz. Tab. 13), tepelně technické vlastnosti malt a omítkovin vycházejí z Tab. 12. Teplota v místě výztuže byla stanovena programem Ansys.

Pojivo/malta	Objemová hmotnost [kg.m ⁻³]	λ [W.m ⁻¹ .K ⁻¹]	c [J.kg ⁻¹ .K ⁻¹]
Malta vápenná	1 600	0,87	840
Malta vápenocementová	1 850	0,97	840
Malta cementová	2 000	1,16	840
Omítka vápenná	1 600	0,88	840
Omítka vápenocementová	2 000	0,99	790
Omítka perlitová	250 - 500	0,10 – 0,18	850

Tab. 12 Charakteristiky základních omítek a maltovin [66]

Nelze konstatovat, že porušením výztuže účinky vysokých teplot dojde ke kolapsu klenby. Tuto metodu však, z hlediska požární odolnosti konstrukce klenby, nelze jednoznačně označit jako vhodnou. Pro dosažení požární odolnosti větší než 30 minut je zapotřebí zajistit minimální krytí výztuže vápenocementovou omítkou tl. 40 mm, v případě použití perlitové omítky je dostačující tl. 10 mm. Je nutné poukázat na fakt, že není prokázáno chování tixotropní malty za zvýšených teplot, tedy nelze prokázat soudržnost výztuže se zdivem klenby za požáru.

Teplota v místě uložení výztuže	Omítka vápenocementová tloušťky [mm]			
Čas [min]	10	20	30	40
15	316	214	150	110
20	390	267	192	142
25	449	319	230	173
30	500	363	267	202
35	542	402	303	230
40	579	437	334	257
45	612	469	363	283
50	641	498	390	307
55	666	524	414	330
60	690	548	437	351

Tab. 13 Teploty v místě uložení výztuže klenby,
krytí výztuže vápenocementovou omítkou (výpočet Ansys) [autor]

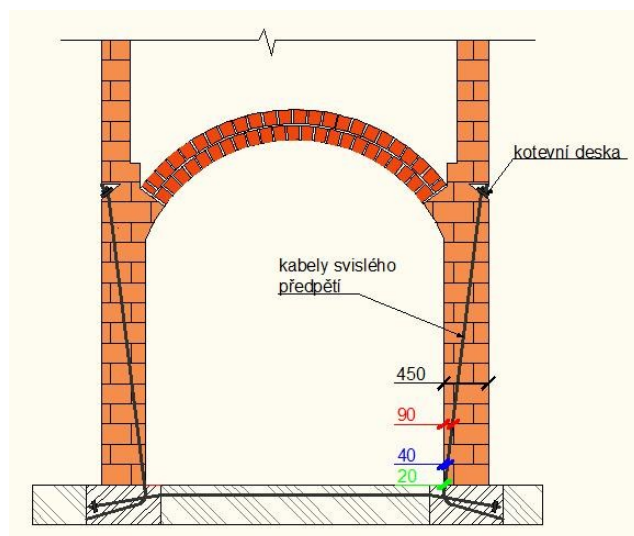
Teplota v místě uložení výztuže	Omítka perlitová tloušťky [mm]			
Čas [min]	10	20	30	40
15	147	114	85	55
20	161	124	105	73
25	174	131	113	90
30	186	138	119	103
35	198	145	123	110
40	209	150	128	114
45	220	156	132	118
50	231	161	136	121
55	242	166	140	124
60	253	171	143	127

Tab. 14 Teploty v místě uložení výztuže klenby,
krytí výztuže perlitovou omítkou (výpočet Ansys) [autor]

Stejná metoda posouzení požární odolnosti, která byla v této disertační práci uplatněna pro klenby vyztužené helikální výztuží, je navržena pro posouzení požární odolnosti dodatečně vyztužené klenby za pomoci *kompozitní výztuže*, která je umístěna v lici klenby. Při zakrytí výztuže vápenocementovou omítkou tl. 20 mm je teplota v místě výztuže 214°C v 15 minutě teplotního namáhání podle normové teplotní křivky, tzn. nižší než kritická teplota pro kompozitní výztuže, která byla v rámci disertační práce stanovena na 250°C. Hodnocení požární odolnosti klenob vyztužených za pomoci helikální výztuže, ocelového táhla a kompozitní výztuže umístěné v lici klenby bylo v rámci disertační práce zpracováno ve formě programu (viz. Příloha B disertační práce).

Pro požadavek vyšší požární odolnosti je vhodné výztuž krýt jiným materiálem, je možno uvažovat např. s protipožárním obkladem klenby, který však původní klenutou konstrukci zcela zakryje. Proto je vhodnější využít materiál na bázi protipožárních nástřikových hmot, pokud bude zajištěna jejich dobrá přilnavost (např. TERMO nebo TERFIX). U některých typů nástřiků je možné v současné době povrchovou úpravu zahladit, kvalitně povrchově upravit a nástřik esteticky neruší interiér objektu. Další alternativou pro dosažení požadované požární odolnosti klenby zesílené za pomoci kompozitních výztuží umístěných v lici klenby, je použití výztuže, která je schopna odolávat vysokým teplotám. Respektive použitím výztuže, která byla podrobena velkorozměrovým zkouškám pro dané teplotní namáhání a předpětí výztuže. V případě kompozitních výztuží, stejně jako u helikální výztuže, není prokázáno, zda se mění vlastnosti polymercementové malty za zvýšených teplot, která zajišťuje soudržnost výztuže se stavební konstrukcí.

Výpočet požární odolnosti dodatečně vyztužených klenob za pomoci lan, která jsou uložena v podpěrném zdivu klenby, byl proveden pro konkrétní případ, tedy tl. opěrné zdi 450 mm, s umístěním předpjatého lana ve zdi v minimální vzdálenosti od okraje 20 mm – viz. Obr. 58.



Obr. 58 Klenba vyztužená pomocí předpjatých lan umístěných v opěrném zdivu [autor]

Výpočet byl proveden stanovením teploty v místě uložení předpjatého lana pomocí TA 1.1. V 30 minutě tepelného namáhání podle normové teplotní křivky byla stanovena teplota ve vzdálenosti 20 mm od okraje stavebního prvku 312°C , tedy nižší než kritická teplota 350°C výztuže. Přepínací kabel je umístěn nejbližší povrchu opěrné stěny klenby těsně u podlahy prostoru. Je nutné uvést, že v tomto místě budou v průběhu požáru mnohem nižší teploty, než v blízkosti paty klenby. Při posouzení požární odolnosti dodatečně vyztužené klenby za pomocí předpjatých táhel umístěných v opěrných stěnách klenby je, k dosažení přesných hodnot, nutné stanovit teploty v prostoru za pomocí zdokonalených modelů požáru. Dále definovat přesné umístění lana v opěrné zdi klenby a poté pomocí nestacionárního vedení tepla provést výpočet teploty v místě výztuže

7. Závěry disertační práce

V rámci rekonstrukcí památkově chráněných objektů, kdy dochází ke změnám staveb podle požadavků projektové normy ČSN 73 0834 [71], je součástí projektové dokumentace k územnímu i stavebnímu řízení, případně k realizaci stavby, požárně bezpečnostní řešení. Při projektovém řešení je velmi důležité detailně posoudit nově navržené využití objektu zejména s ohledem na navýšení požárního rizika objektu a počet evakuovaných osob. Nově navržená pasivní opatření požární bezpečnosti, která vyplynou z posouzení požární bezpečnosti rekonstruovaného objektu, nelze vždy realizovat, konkrétně:

- je omezena možnost změny dispozice objektu, při dělení objektu do jednotlivých požárních úseků,
- využití chráněných únikových cest je omezeno jednak z hlediska změny dispozice objektu, ale také z důvodů zajištění větrání prostor chráněných únikových cest,
- není možné zajistit další požadovanou únikovou cestu, kdy v rámci zachování autentičnosti objektu nebude umožněno vybudování požárního schodiště, případně evakuačního výtahu u objektu,
- stávající stavební konstrukce nevyhoví doporučené požární odolnosti a navrhované protipožární obklady, případně protipožární nátěry stavebních konstrukce nelze použít z důvodů zakrytí původní stavební konstrukce, nebo jejího poškození vlivem např. přetížení, zadržování vlhkosti v konstrukci nebo chemického působení nátěrů na konstrukci.

Disertační práce představuje současné aktivní požárně bezpečnostní systémy, zejména elektrickou požární signalizaci a samočinné stabilní hasicí zařízení, které lze instalovat do prostor památkově chráněných objektů. Výběr nejvhodnějšího systému elektrické požární signalizace musí být proveden konkrétně pro daný střežený prostor s ohledem na jeho správnou funkci a minimální zásah do vzhledu interiéru objektu. V případě instalace samočinného stabilního hasicího zařízení je nutné počítat se stavební připraveností objektu s ohledem na umístění nádrže a strojovny SSHZ. Systémy SSHZ jsou ekonomicky náročné, avšak škoda způsobená požárem na jedinečných objektech je následně nevyčíslitelná. Příkladem je požár kostela Sv. Kateřiny v Ostravě Hrabové z roku 2002, jehož škoda byla

odhadnuta na 20 mil. korun. Před požárem v objektu nebylo instalováno žádné požárně bezpečnostní zařízení. V současné době je, bohužel pouze replika objektu, zabezpečena elektrickou požární signalizací.

Přínosem disertační práce pro praxi je ucelený přehled metod hodnocení požární odolnosti stávajících stavebních konstrukcí historických objektů. Pro převážnou většinu stavebních konstrukcí památkově chráněných staveb byly dohledány tabulkové hodnoty požární odolnosti, případně byly v předložené disertační práci dopočítány na základě metodiky výpočtu požární odolnosti stavebních konstrukcí podle Eurokódů. Disertační práce rovněž sumarizuje a analyzuje současné technické možnosti zabezpečení památkově chráněných objektů proti požáru.

Cílem disertační práce byl návrh metodického postupu posouzení požární odolnosti kleneb sanovaných podle vytipovaných metod a návrh vhodného řešení společně s aplikacemi navržené metodiky. Tento cíl byl stanoven s ohledem na skutečnost, že hodnoty požární odolnosti dodatečně vyztužených kleneb a metoda hodnocení požární odolnosti dodatečně vyztužených kleneb doposud nebyla zpracována. V průběhu řešení disertační práce jsem se seznámila s řadou sanačních opatření a metod rekonstrukcí kleneb. Na základě zjištěných informací bylo v disertační práci pro jednotlivé metody provedeno zhodnocení požární odolnosti. Současně byla navržena a zpracována nová metodika stanovení požární odolnosti dodatečně vyztužených kleneb, která vychází z principu hodnocení požární odolnosti stavebních konstrukcí podle Eurokódů. V průběhu aplikace metodiky na konkrétních řešených případech hodnocení (viz kapitoly 6.1 až 6.3 disertační práce) bylo prokázáno, že kritickými metodami zesílení klenby z hlediska požární odolnosti, jsou metody používající ztužující prvek umístěný v lici klenby. V těchto případech je nutné nadimenzovat ztužující prvek na požadovanou požární odolnost, jak je tomu u ocelových táhel v lici klenby, případně zajistit jeho dostatečné krytí pláštěm požární ochrany tak, aby požární odolnost této konstrukce vyhověla. U navrženého pláště požární ochrany je nutné zajistit přilnavost k chráněné konstrukci. Splnění cíle disertační práce, tzn. návrh metodiky stanovení požární odolnosti dodatečně vyztužených kleneb, je dílčím vědeckým přínosem ve vědním oboru Požární ochrana a průmyslová bezpečnost.

Námětem na další vědecký výzkum je využitelnost kompozitních výztuží. Pro jednotlivé typy kompozitních výztuží nejsou stanoveny kritické teploty, na základě kterých by bylo možné

hodnotit požární odolnost konstrukcí vyztužených za pomoci těchto materiálů a stanovit minimální krytí výztuže. V dané oblasti v současné době probíhá výzkum, který je ovšem zaměřen na kompozitní výztuže využívané v betonových konstrukcích. Další výzkum kompozitních výztuží je vhodné zaměřit na chování výztuží za vysokých teplot ve zděných konstrukcích, a to zejména s ohledem na soudržnost výztuže se stavební konstrukcí.

Při hodnocení požární odolnosti zděných kleneb za pomoci stanovení přestupu tepla stavební konstrukcí scházely vstupní hodnoty výpočtu pro konkrétní zdící prvky. Hodnoty, které jsou uvedeny v příloze D Eurokódu 6 [82] nejsou pro přesný výpočet dostatečné. Zcela absentují tyto hodnoty pro zdivo z přírodního kamene. Pro obecnou aplikaci hodnocení požární odolnosti stavebních konstrukcí podle Eurokódů je potřeba sestavit databázi mechanických a tepelně technických vlastností jednotlivých stavebních materiálů. V oblasti vlivu pasivních požárně ochranných systémů na památkově chráněné objekty je zapotřebí další výzkum zaměřit rovněž na historické dřevěné konstrukce a zejména na vliv a účinnost novodobých intumescentních protipožárních nátěrů. V případě aktivních prvků požární ochrany je vhodné zmapovat působení současných hasebních látek na cenné materiály uložené v interiérech památkově chráněných objektů.

Řešení disertační práce přispělo k dosud scházejícímu komplexnímu hodnocení požární bezpečnosti historických objektů, zejména však k řešení požární odolnosti dodatečně vyztužených klenutých stropních a střešních konstrukcí.

8. Conclusion of the dissertation

The fire safety solution is part of the project documentation for area and construction management, eventually for construction realization within the listed buildings reconstructions, where the structure alterations comes up according to the CSN 73 083 project standard requirement. It is very important to minutely consider recently designed use of the premise, especially with respect to the object's fire risk increase and number of the evacuated individuals. The recently projected passive fire safety measures arising from the fire safety of the reconstructed building appraisal could not be realized, in the concrete:

- the alteration of a premise disposition possibility is limited during the object dividing to the separated fire cells,
- the protected emergency exits utilization is limited partly from the building disposition alteration point of view, and also partly from the ventilation requirement reason of these exits,
- it is not possible to secure required additional emergency exit within the conservation of authentic premise will not be enable to build up the fire stairs, eventually evacuation elevator next to the object,
- a current constructions are not sufficient for the suggested fire resistance, and it is not possible to use projected flame shield (eventually antifire structure paintings) because of the covering or its damage for example due to the overloading, a moisture retention in the construction or chemical reaction of painting to the structure.

The thesis has presented the recent active fire safety systems, especially the electric fire alarm system and the stable self-acting quenching system, which could be installed into the area of listed buildings. The selection of the optimal electric fire alarm system has to be done concretely for the given type of the guarded area with respect to its correct function and minimal intervention to the visual aspect of interior. It is necessary to take into account practical completion with respect to the tank position and engine room, in case of the stable self-acting quenching system installation.

The aim of presented thesis was methodical design process the fire resistance of vaults, which where rehabilitated according to the selected methods and design appropriate solutions together with applications of the proposed methodology. This aim was determine with reference to the fact, that the fire resistance valuations of the additionally reinforced vaults and the fire resistance rating method additionally reinforced vaults has not yet been processed. I had become acquainted with a number of remediation measures and methods of the vault reconstructions. Based on established information was done for the different methods an assessment of fire resistance. At the same time was designed and developed a new methodology for determining fire resistance additionally reinforced vaults, which is based on the principle of fire resistance evaluation of structures according to Eurocodes. During the applications of the methodology on specific cases dealt with assessment (see Chapters 6.1 to 6.3 of thesis) has been shown, that in way of fire resistance is the most critically method which using reinforcing element positioned in the face of the arch. In these case is necessary to dimension reinforcing element to the required fire resistance, as in the case with steel pull in the face of the vault, or to ensure adequate coverage by the fire safety mantle. There is need to provide sufficient grip to the protected construction. Compliance of the aim of dissertation, ie. design methodology for determining fire resistance additionally reinforced vaults, is a partial asset of scientific discipline Fire Protection and Industrial Safety.

The theme for the further scientific research is in the way of the usability of fiber reinforced polymers. For each types of fiber reinforced polymer are not determine the critical temperature under which it would be possible to evaluate the fire resistance of reinforced construction using these materials and the minimum concrete cover. The research in this section is done, but it is specialized for the fiber reinforced polymers in concrete structures. The next research of the fiber reinforced polymers has to be optimum target to the fiber reinforced polymers in the brickwork, especially to the adhesion of the reinforcement with the construction.

When evaluating the fire resistance of masonry arches for determining the heat transfer through building construction was missing the incoming values of calculation for concrete masonry elements. Values, which are given in appendix D Eurocodes 6 are not sufficient for precise calculation. These values are totally missing for stone. There is need to create the database of the mecanical and thermal-technical properties of individual building materials for

general application assessment of fire resistance of structures according to Eurocodes. In the field of impact of the passive fire safety systems to the listed building is necessary to focus further research on the influence of intumescent paint to the historic wooden structures. In the part of the active fire safety systems it is appropriate to map out current activities of extinguishing agents into valuable materials stored in the interior of listed buildings.

The solution of the dissertation contributed to yet missing complex evaluation of fire safety the listed buildings, but especially to deal with solution the fire safety resistance of reinforced vaulted ceiling and roof structures.

9. Použitá literatura

- [1] Adamová, K. Lojek, A. *Ohňové patenty*. In sborník Pocta Eduardu Vlčkovi k 70. narozeninám. Olomouc: Univerzita Palackého v Olomouci, 2010. s. 9-13. ISBN 978-80-244-2491-0
- [2] Bradáčová, I. *Stavby z hlediska požární bezpečnosti*. 1. vyd. Brno: Era, 2007. 156 s. ISBN 978-80-7366-090-1.
- [3] Dudáček, A. *Automatická detekce požáru*. 1. vyd. Ostrava: Sdružení požárního a bezpečnostního inženýrství, 2000. 94 s. ISBN 80-86111-62-8
- [4] Filipčík, J. *Metodika ke zpracování základní dokumentace PO*. Praha : Hasičské sdružení konsorcium – MULTA
- [5] Hájek, V. *Architektura klíč k architektonickým slohům*. 1. vyd. Praha: Grada Publishing, spol. s. r. o., 2000. 229 s. ISBN 80-7169-722-2
- [6] Kohout , J. Tobek, A. Barták, K. *Zednictví tradice z pohledu dneška*. 8. vyd. Praha: Grada publishing, 1998. 224 s. ISBN 80-7169-653-6
- [7] Kučová, V. Bureš, P. *Principy péče o lidové stavby*. Praha: Jalna, 1999. 119 s. ISBN 80-86234-07-X
- [8] Lipanská, E. *Historické klenby*. 1.vyd. Praha: EL CONSULT. 1998. 71 s. ISBN 80-902076-1-8
- [9] Muk, J. *Historické konstrukce*. 1. vyd. Praha: České vysoké učení technické, 1996. ISBN 80-01-01095-3
- [10] Netopilová, M. *Materiály, stavební materiály*. 1.vyd. Ostrava:Sdružení požárního a bezpečnostního inženýrství, 2004. 124 s. ISBN 80-86634-27-2
- [11] Pavel, J. *Ochrana kulturních památek: společenská nezbytnost památkové péče*. 1. vyd. Praha: Státní pedagogické nakladatelství, 1969. 133 s.
- [12] Pavlík, M. *Regenerace historických budov, sídel a krajiny, ochrana památek*. 1. vyd. Praha: České vysoké učení technické, 1996. 158 s. ISBN 80-01-01797-4

- [13] Pume, D. Čermák, F. a kol. *Průzkumy a opravy stavebních konstrukcí*. 1. vyd. Praha : ABF nadace pro rozvoj architektury a stavitelství, Nakladatelství ARCH, 1993. 127 s.
- [14] Reichel, V. *Hodnoty požární odolnosti stavebních konstrukcí*. 1. vyd. Praha: Výzkumný ústav pozemních staveb, 1971. 208 s.
- [15] Solař, J. *Poruchy a rekonstrukce zděných staveb*. 1.vyd. Praha: Grada Publishing, a.s., 2008. 192 s. ISBN 978-80-247-2672-4.
- [16] Staňková, J. Sedláková, R. Pošva, R. Voděna, S. *Architektura v proměnách tisíciletí*. 1.vyd. Praha: Sobotáles, 2005. 303 s. ISBN 80-86817-10-5
- [17] Škabrada, J. *Konstrukce historických staveb*. 1. vyd. Praha: Argo, 2003. 395 s. ISBN 80-7203-548-7
- [18] Šorin, S.N. *Sdílení tepla*. 1. vyd. Praha: SNTL – Nakladatelství technické literatury, n.p., 1968. 398 s.
- [19] Vinař, J. *Konstrukce historických objektů*. 1.vyd. Praha: Společnost pro technologie ochrany památek, 2006. 166 s. ISBN 80-86657-05-1
- [20] Vlček, M. Moudrý, I. Novotný, M. Beneš, P. Maceková, V. *Poruchy a rekonstrukce staveb*. 2. vyd. Šlapanice: ERA group spol.s.r.o., 2003. 222 s. ISBN 80-86517-56-X.
- [21] Wald, F. a kol. *Výpočet požární odolnosti stavebních konstrukcí*. 1.vyd. Praha: České vysoké učení technické, 2005. 336 s. ISBN 80-01-03157-8
- [22] Witzany, J. Čejka, T. Wasserbauer, R. Zigler, R. *PDR – poruchy, degradace a rekonstrukce*. 1. vyd. Praha: České vysoké učení technické, 2010. 458 s. ISBN 978-80-01-04488-9
- [23] Witzany, J. Jiránek, M. Zlesák, J. Zigler, R. *Konstrukce pozemních staveb 20*. 2. vyd. Praha: České vysoké učení technické, 2006. 324 s. ISBN 80-01-03422-4
- [24] Witzany, J. *Konstrukce pozemních staveb 60*. 1 vyd. Praha: České vysoké učení technické, 1995. 293 s. ISBN 80-01-01310-3
- [25] Zelinger, J. *Požární bezpečnost dřevěných staveb*. 1. vyd. Praha: MV – generální ředitelství Hasičského záchranného sboru ČR, 2009. 62 s. ISBN 978-80-86640-85-3

- [26] Zoufal, R. a kol. *Hodnoty požární odolnosti stavebních konstrukcí podle Eurokódů*. 1.vyd. Praha: Pavus, 2009. 126 s. ISBN 978-80-904481-0-0
- [27] Bednarz, P. *Protipožární ochrana památkových objektů*. Ostrava 2002. 64 s. Diplomová práce na Hornickogeologické fakultě VŠB-TUO
- [28] Časopis Stavebnictví, časopis stavebních inženýrů, techniků a podnikatelů. *Památkově chráněné stavby*. Roč. I. Č. 09/2007. ISSN 1802-2030
- [29] Degefa, M. Wald, F. Kolísko, J. Matějka, M. *Požární odolnost litinových sloupů*. Konstrukce roč. 9, č. 3/2010. ISSN 1213-8762
- [30] Jaroš, M. *Techniky neviditelné požární detekce*. Elektroinstalatér, roč. XI, č. 6. ISSN 1211-2291
- [31] Lepel, A. *Characteristic structures of the industrial buildings from the XIX-XX centuries and technical interventions for the re-utilization*. Facta universitatis, series: Architecture and Civil Engineering. roč.4, č. 1, 2006, s. 1-17. ISSN 0354 – 4605
- [32] Klívar, N. *Likvidace mimořádných událostí v objektech historického významu*. Ostrava 2006. 75 s. Diplomová práce na Fakultě bezpečnostního inženýrství VŠB - TUO
- [33] Maršík, Z. *Zesilování historických zděných kleneb*. Praha, 2007. 131 s. Disertační práce na Fakultě stavební ČVUT
- [34] Mikolai, I. *Požiarne bezpečnosť budov – zmeny stavieb a pamiatky*. In Monumentorum tutela 19: Ochrana pamiatok 19: Zborník príspevkov z medzinarodnej vedeckej konferencie Technické zaradenia, európske technické normy a ochrana pamätokového fondu. Bratislava: Pamiatkový úrad Slovenskej republiky, 2008. s. 108-117. ISBN 978-80-89175-25-3
- [35] Olšar, L. *Analýza výpočtu teplôt v požiarňom úseku podľa parametrických teplotných kriviek v závislosti od odvetrávania*. In Požární ochrana 2010. Ostrava: Sdružení požárního a bezpečnostního inženýrství 8. – 9. 9. 2010. s. 233-236. ISBN 978-80-7385-087-6
- [36] Sborník odborného semináře společnosti STOP. *Požár na památkách: příčiny, následky, prevence*. Národní muzeum, Praha 2005

- [37] Sborník odborného semináře společnosti STOP. *Protipožární ochrana památkových objektů*. Kloknerův ústav ČVUT, Praha 1999
- [38] Sborník z mezinárodní konference. *Požární ochrana hmotného kulturního dědictví*. Profesní komora PO, Český Krumlov 2011
- [39] Sborník z diskusního semináře. *Technologie požární ochrany muzeí*. Technické muzeum v Brně, Brno 2009
- [40] Sborník z mezinárodní konference. *Ochrona zabytków na wypadek szczególnych zagrożeń*. The Fire Service College in Cracow, Krakov 2005
- [41] Šilhan, O. *Zesilování stavebních konstrukcí dodatečně lepenou kompozitní výztuží*. Stavebnictví, roč. 8, č. 6/2008. s 37 – 39. ISSN 1802-2030
- [42] Táborský, J. *Soukromá obnova zámku v nízkonákladovém režimu*. Stavebnictví, roč. I, č. 11-12/2007. s. 16-18. ISSN 1802-2030
- [43] NPÚ. *Používání chemických protipožárních nátěrů na historické dřevěné konstrukce*. Stavebnictví, roč. VI, č. 03/2012. s. 34 – 35. ISSN 1802-2030
- [44] *Guide for Practitioners. Fire Safety Management in Traditional Buildings. Part 2 Technical Applications and Management Solutions*. Edinburgh: Historic Scotland 2010. 175 s. ISBN 978-1-84917-035-2
- [45] *Guide for Practitioners. Conversion of Traditional Buildings. Part 1 Principles and Practice*. Edinburgh: Historic Scotland 2007. 157 s. ISBN 978 1 904966 46 3
- [46] *Guide for Practitioners. Fire Safety Management in Traditional Buildings. Part 1 Principles and Practice*. Edinburgh: Historic Scotland 2010. 175 s. ISBN 978-1-84917-035-2
- [47] Sborník z konference. *Fire Protection and the Build Heritage*. Edinburgh: Historic Scotland 1999. ISBN 1 9001 68 72 3
- [48] Sborník z mezinárodního semináře. *Built Heritage: Fire Loss to Historic Buildings*. COST 17: Helsinky 2005.

- [49] Závěrečná zpráva výzkumného projektu COST 17. COST Action 17: Build Heritage: *Fire Loss to Historic Buildings*: Final Report part 1. Edinburgh: Historic Scotland 2007. 284 s. ISBN 978 1 904966 53 1
- [50] Jensen, G. Research Report. Minimum Invasive Fire Detection for Protection of Heritage. Oslo: Riksantikvaren, 2006. 40 s. ISBN 82-7574-040-1
- [51] Jensen, G. Research Report. Manual Fire Extinguishing Equipment for Protection of Heritage. Oslo: Riksantikvaren, 2006. 62 s.
- [52] Jensen, G. Research Report. Hypoxic Air Venting for Protection of Heritage. Oslo: Riksantikvaren, 2006. 80 s. ISBN 82-7574-037-1
- [53] Jensen, G. Research Report. Water Mist for Protection of Heritage. Oslo: Riksantikvaren, 2004. 31 s.
- [54] Jensen, G. Research Report. Analysis of Sprinkler Failures in Listed Heritage Buildings. Oslo: Riksantikvaren, 2006. 15 s.
- [55] Cook, G. *Upgrading the fire resistance of floors and doors in heritage buildings*. In Textbook of International Symposium on Protection of Cultural Heritage Buildings from Fire. Kyoto, duben, 2003.
- [56] Zákon č. 20/1987 Sb., o státní památkové péči, ve znění pozdějších předpisů
- [57] Zákon č. 22/1958 Sb., o kulturních památkách
- [58] Zákon č. 183/2006 Sb., o územním plánování a stavebním řádu (stavební zákon)
- [59] Zákon č. 2/1993 Sb., Listina základních práv a svobod
- [60] Zákon č. 40/1964 Sb., občanský zákoník
- [61] Zákon č. 360/1992 Sb., o výkonu povolání autorizovaných architektů a o výkonu povolání autorizovaných inženýrů a techniků činných ve výstavbě
- [62] Vyhláška č. 23/2008 Sb., o technických podmínkách požární ochrany staveb
- [63] Vyhláška č. 246/2001 Sb., o stanovení podmínek požární bezpečnosti a výkonu státního požárního dozoru (vyhláška o požární prevenci)
- [64] Zákon č. 133/1985 Sb., o požární ochraně ve znění pozdějších předpisů

- [65] Nařízení vlády č. 11/2002 Sb., kterým se stanoví vzhled a umístění bezpečnostních značek a zavedení signálů
- [66] ČSN 73 0540-3 *Tepelná ochrana budov. Část 3: Výpočtové hodnoty veličin pro navrhování a ověřování*. Praha: ČNI, květen 1994. 40 s.
- [67] ČSN 73 0802 *Požární bezpečnost staveb – Nevýrobní objekty*. Praha: ČNI, květen 2009. 122 s.
- [68] ČSN 73 0804 *Požární bezpečnost staveb – Výrobní objekty*. Praha: ČNI, únor 2010. 154 s.
- [69] ČSN 73 0810 *Požární bezpečnost staveb – Společná ustanovení*. Praha: ČNI, duben 2009. 43 s.
- [70] ČSN 73 0834. *Požární bezpečnost staveb - Změny staveb*. Praha: Výzkumný ústav pozemních staveb Praha, březen 1987. 15 s.
- [71] ČSN 73 0834. *Požární bezpečnost staveb - Změny staveb*. Praha: ČNI, březen 2011. 21 s.
- [72] ČSN 73 0834 Změna Z1. *Požární bezpečnost staveb - Změny staveb*. Praha: ČNI, červenec 2011. 15 s.
- [73] ČSN 73 0849. *Požární bezpečnost staveb. Nemovité kulturní památky*.
- [74] ČSN 73 0821 ed.2. *Požární bezpečnost staveb – Hodnoty požární odolnosti stavebních konstrukcí*. Praha: ČNI, květen 2007. 18 s.
- [75] ČSN 73 0810. *Požární bezpečnost staveb – Společná ustanovení*. Praha: ČNI, duben 2009, 43 s.
- [76] ČSN EN 1363-1 *Zkoušení požární odolnosti - Část 1: Základní požadavky*. Praha: ČNI, únor 2000, 44 s.
- [77] ČSN EN 1991-1-2 *Eurokód 1: Zatížení konstrukcí – Část 1-2: Obecná zatížení – Zatížení konstrukcí vystavených účinkům požáru*. Praha: ČNI, srpen 2004, 55 s.
- [78] ČSN EN 1992-1-2 *Eurokód 2: Navrhování betonových konstrukcí – Část 1-2: Obecná pravidla – Navrhování konstrukcí na účinky požáru*. Praha: ČNI, listopad 2006. 92 s.

- [79] ČSN EN 1993-1-1 *Eurokód 3: Navrhování ocelových konstrukcí – Část 1-1: Obecná pravidla a pravidla pro pozemní stavby*. Praha: ČNI, prosinec 2006, 96 s.
- [80] ČSN EN 1993-1-2 *Eurokód 3: Navrhování ocelových konstrukcí – Část 1-2: Obecná pravidla – Navrhování konstrukcí na účinky požáru*. Praha: ČNI, prosinec 2006, 80 s.
- [81] ČSN EN 1996-1-2 *Eurokód 6: Navrhování zděných konstrukcí – Část 1-2: Obecná pravidla – Navrhování konstrukcí na účinky požáru*. Praha: ČNI, srpen 2006, 84 s.
- [82] ČSN EN 1996-1-1 *Eurokód 6: Navrhování zděných konstrukcí – Část 1-1: Obecná pravidla pro vyztužené a nevyztužené zděné konstrukce*. Praha: ČNI, květen 2007, 106 s.
- [83] ČSN EN 1995-1-2 *Eurokód 5: Navrhování dřevěných konstrukcí - Část 1-2 : Obecná pravidla - Navrhování konstrukcí na účinky požáru*. Praha: ČNI, prosinec 2006, 68 s.
- [84] ČSN EN 1363-1 *Zkoušení požární odolnosti – Část 1 Základní požadavky*. Praha: ČNI, únor 2000, 41 s.
- [85] ČSN EN 54-11 *Elektrická požární signalizace - Část 11: Tlačítkové hlásiče*. Praha: ČNI, březen 2002. 40 s.
- [86] ČSN ISO 3864 *Bezpečnostní barvy a bezpečnostní značky*. Praha: ČNI, listopad 1995. 60 s.
- [87] ČSN ISO 13822 *Zásady navrhování konstrukcí – Hodnocení existujících konstrukcí*. Praha: ČNI, srpen 2005. 70 s.
- [88] ČSN EN 12 845 *Stabilní hasicí zařízení - Sprinklerová zařízení - Navrhování, instalace a údržba*. Praha: ČNI, říjen 2010. 144 s.
- [89] NFPA 914 *Code for Fire Protection of Historic Structures*. NFPA: 2007 Edition
- [90] NFPA 909 *Code for the Protection of Cultural Ressource Properities – Museums, Libraries, and Places of Worship*. NFPA: 2005 Edition
- [91] BS 5454 *Recommendations for the Storage and Exhibition of Archival Documents*. BSI: 2000
- [92] Ústřední seznam kulturních památek České republiky URL: <www.monument.cz> [cit. 2011-09-07]
- [93] Návrh ČSN 73 0821 URL: <www.pelcfrantisek.cz> [cit. 2011-09-07]

- [94] *Fire safety retrofitting in historic buildings* URL:< http://www.gsa.gov/gsa/cm_attachments/GSA_BASIC/Fire_Safety_Retrofitting_in_Historic_Buildings_R2E-r2W-e_OZ5RDZ-i34K-pR.pdf> [cit. 2007-09-02]
- [95] Anderson C., Yetim N., Aleen R. *Technical preservation guidelines – Fire safety retrofitting*.
URL: <http://www.gsa.gov/gsa/cm_attachments/GSA_BASIC/FireSafetyRetrofit_R2RQ4P_OZ5RDZ-i34K-pR.pdf> [cit. 2007-10-08]
- [96] Meyer, U. *Eurocode 6-1-2: design of masonry structures – Structural Fire Design*. URL: <http://eurocodes.jrc.ec.europa.eu/doc/WS2009/3_am_Meyer.pdf> [cit. 2011-11-08]
- [97] Islam, R. *Inventory of FRP strengthening methods in masonry structure*. URL: <<http://upcommons.upc.edu/pfc/bitstream/2099.1/7901/1/01.pdf>> [cit. 2011-11-08]
- [98] Katz, A. *Effect of Hight Temperature on Bond Strenght of FRP Rebars*. URL: <<http://csauth.ccny.cuny.edu/prospective/gsoe/upload/Katz-Berman-Bank-JCC-1999.pdf>> [cit. 2011-11-08]
- [99] Mathieu, R. Brahim, B. Behavior of GFRP Reinforcing Bars Subjected to Extrême Temperatures. URL: <http://www.vrodaustralia.com.au/wp-content/themes/vrod/pdf/engineering/durability_reports/05.pdf> [cit. 2011-11-08]
- [100] An English Heritage technical guidance note. *Timber panelled doors and fire*. London: English Heritage, 1997. 36 s.
<<http://www.helm.org.uk/upload/pdf/EH6.pdf?1310454075>> [cit. 2009-05-14]
- [101] Technické informace firmy HELUZ, výrobek NATURE ENERGY, nepálená cihla zdroj <<http://www.heluz.cz/uploads/PDF/listy/heluz-nature-energy.pdf>> [cit. 2010-12-10]
- [102] Technické informace Calcium Silicate Board <<http://en.bornder.com>> [cit. 2010-12-10]
- [103] Technické informace Calcium Silicate Board <<http://www.calcium-silicate-board.com/>> [cit. 2010-12-10]
- [104] Katalogový list fy BOSCH
- [105] Katalogový list fy DASIP centrum požárních dveří a stěn

- [106] <<http://concrete.fsv.cvut.cz/~stefan/vyzkum.htm>> [cit. 2012-01-08]
- [107] <www.hzspraha.cz> [cit. 2011-05-08]
- [108] <<http://libraryarchitecture.wikispaces.com> > [cit. 2011-05-08]
- [109] <www.novinky.cz > [cit. 2011-05-08]
- [110] <www.zamek-breznice.cz > [cit. 2011-05-10]
- [111] < www.fogtec-international.com> [cit. 2011-05-20]
- [112] < www.orrprotection.com > [cit. 2011-05-20]
- [113] < www.prefa-kompozity.cz> [cit. 2011-12-08]
- [114] < http://tridenthvacmarine.com.my/fire_protection.html> [cit. 2011-06-14]
- [115] <www.trebic.cz> [cit. 2011-05-20]
- [116] <www.peem.cz> [cit. 2011-05-20]
- [117] <www.sanol.cz> [cit. 2011-05-20]
- [118] < <http://saron.cz>> [cit. 2011-05-20]
- [119] <<http://www.e-architect.co.uk/images/jpgs/london>> [cit. 2011-09-13]

10. Seznam vlastních publikací souvisejících s disertační prací

- [1] Česelská, T. *Možnosti ochrany kulturních památek před požáry*. In: Sborník přednášek z Konference mladých vědeckých pracovníků „Věda a krizové situace“, 23. října 2007, VŠB – TUO. SPBI: Ostrava, 2007. ISBN 978-80-7385-011-1
- [2] Česelská, T. Dudáček, A. Netopilová, M. *Požárně bezpečnostní zařízení v historických interiérech*. In: Sborník příspěvků z konference Enviromentálne aspekty požiarov a havárií 2008, 7. února 2008, Trnava. ISBN 978-80-8096-052-0
- [3] Česelská, T. Netopilová, M. Dudáček, A. *Dřevěné konstrukce z hlediska požární bezpečnosti*. In: Sborník příspěvků z konference Enviromentálne aspekty požiarov a havárií 2008, 7. února 2008, Trnava. ISBN 978-80-8096-052-0
- [4] Česelská, T. Netopilová, M. *Výpočet požární odolnosti dřevěných konstrukcí*. Střechy, fasády, izolace, roč. 14, č. 7/8, 2007. s. 52 – 56. ISSN 1211 – 1856
- [5] Česelská, T. Netopilová, M. *Ochrana památkově chráněných objektů před požáry*. In Sborník z přednášek z mezinárodní konference mladých vědeckých pracovníků Mladá věda, věda a krizové situácie. Žilina: Žilinská univerzita 4. – 5. 9. 2008. ISBN 978-80-8070-896-2
- [6] Česelská, T. *Požární bezpečnost památkově chráněných objektů*. In Sborník z přednášek mezinárodní Baťovy doktorandské konference. Zlín: Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně 12.4.2007. ISBN 978-80-7318-529-9
- [7] Česelská, T., Netopilová, M. *Požární odolnost stavebních konstrukcí historických objektů*. In Sborník z mezinárodní konference Požární ochrana 2010. Ostrava: Sdružení požárního a bezpečnostního inženýrství 8. – 9. 9. 2010. ISBN 978-80-7385-087-6
- [8] Kučera, P., Česelská, T., Matečková, P. *Požární odolnost stavebních konstrukcí*. 1. vyd. Ostrava: Sdružení požárního a bezpečnostního inženýrství, 2010. 176 s. ISBN 978-80-7385-094-4
- [9] Česelská, T. *Metodika hodnocení historických stavebních konstrukcí z hlediska požární odolnosti*. Spektrum. roč. 12, č.2, 2012. ISSN 1211-6920 (v tisku)

Příloha A



**Fakulta bezpečnostního inženýrství
Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava**

METODIKA HODNOCENÍ POŽÁRNÍ ODOLNOSTI DODATEČNĚ VYZTUŽENÝCH KLENEB

Autor metodiky: Ing. Tereza Česelská

Ostrava 2012

Obsah

1. ÚVOD.....	3
2. ZÁKLADNÍ POJMY	4
2.1 Klenba.....	4
2.2 Požární odolnost	4
2.3 Požární úsek.....	4
2.4 Požárně dělicí konstrukce	4
2.5 Rekonstrukce a sanace	4
3. METODY DODATEČNÉHO VYZTUŽENÍ KLENEB	5
3.1 Zajištění podpor klenby	5
3.2 Zesílení klenby	6
3.3 Předběžné hodnocení požární odolnosti uvedených metod.....	7
4. METODIKA POSOUZENÍ POŽÁRNÍ ODOLNOSTI	8
4.1 Požadavek požární odolnosti	10
4.2 Teplotní analýza požárního úseku	10
4.3 Stanovení kritické teploty výztuže	11
4.4 Stanovení teploty v místě uložení výztuže.....	12
5. VZOROVÁ PŘÍPADOVÁ STUDIE	15
6. PODKLADY	16

1. Úvod

Při hodnocení požární odolnosti stávajících konstrukcí lze vycházet z tabulkových údajů uvedených v [1], [2] a [4]. Předložená metodika uvádí postup hodnocení požární odolnosti dodatečně vyztužených historických kleneb, který je založen na principech posouzení požární odolnosti podle Eurokódů.

V případě historických konstrukcí památkově chráněných staveb je nutné provést průzkum konstrukcí z hlediska jejich únosnosti vzhledem k degradaci materiálu zapříčiněnou prioritně časovými, klimatickými a biologickými faktory. Návrh stavební konstrukce na účinky požáru představuje zohlednění chování konstrukčního systému při teplotách vyvíjených v průběhu požáru. V řešeném případě není uvažován vliv protipožárních opatření, tedy systému samočinného stabilního hasicího zařízení a zařízení pro odvod kouře a tepla.

Metodika hodnocení požární odolnosti je zpracována pro klenby zděné z pálených zdících prvků. Princip návrhu lze využít i pro další zdící materiály, za předpokladu, kdy jsou známy vlastnosti materiálu a změny vlastností stavebního materiálu v závislosti na vzrůstající teplotě.

2. Základní pojmy

2.1 Klenba

Klenbou se ve stavebnictví rozumí zděná konstrukce kamenná, cihelná nebo betonová, která pro svůj tvar a vazbu přenáší celé zatížení šikmo do podpor, respektive do opěrných zdí, pásů a pilířů.

2.2 Požární odolnost

Požární odolnost je doba, po kterou je stavební konstrukce schopna zachovat si svou funkci. Je dána dosažením některého z mezních stavů. V předložené metodice je posuzován mezní stav únosnosti a stability, který je označován písmenem *R*.

2.3 Požární úsek

Základní posuzovaná jednotka požární bezpečnosti staveb. Prostor stavebního objektu ohraničený od dalších částí tohoto objektu požárně dělícími konstrukcemi.

2.4 Požárně dělící konstrukce

Stavební konstrukce (požární stropy, požární stěny, požární uzávěry otvorů) vyhovující požadovanému kritériu požární odolnosti.

2.5 Rekonstrukce a sanace

Rekonstrukcí objektu jsou popisovány stavební úpravy objektu, které navrací objekt k původnímu stavu. Sanací se rozumí stavební úpravy, kterými dochází k nápravě škod.

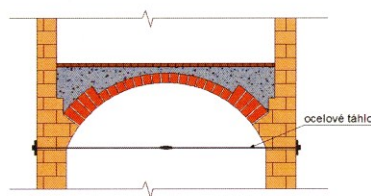
3. Metody dodatečného vyztužení kleneb

Při rekonstrukci památkově chráněných objektů dochází mnohdy k potřebě statického zajištění stávající klenby, z důvodu jejího porušení nebo z důvodů požadavku na zvýšení únosnosti klenby. K tomu se využívá v současné době několik metod, v závislosti na poruše klenbové konstrukce.

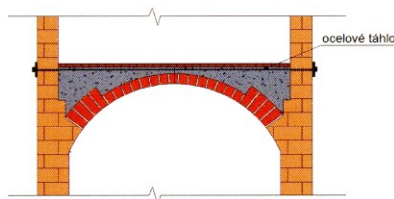
Na následujících obrázcích jsou uvedeny grafické nákresy nejčastěji využívaných metod zajištění a zesílení stávajících klenutých konstrukcí.

3.1 Zajištění podpor klenby

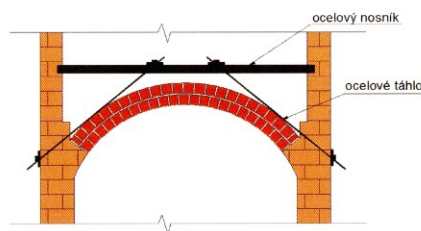
- osazení táhla v patě klenby



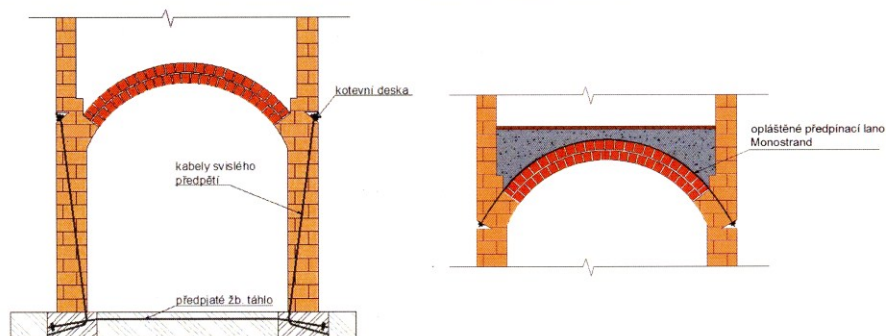
- osazení táhla na rubu klenby



- kombinované kleště – vodorovné táhlo je doplněno o šikmé prvky kotvené do opěrných zdí v patě klenby

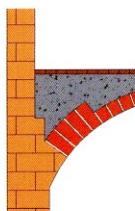


- zajištění podpor předpínáním – svislé podpory jsou zajištěny lany, která jsou uložena v podpěrném zdivu klenby, případně je vychýlení stěnových pilířů zajištěno předepjatým lanem uloženým na rubu klenby (lano Monostrand)

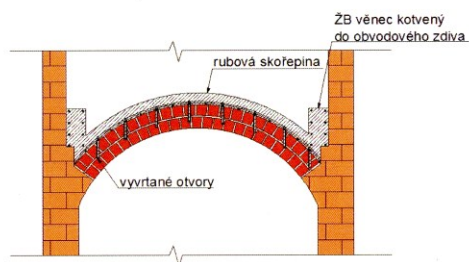


3.2 Zesílení klenby

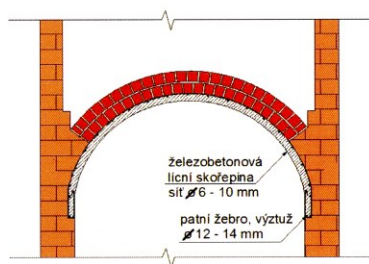
- nadezdívka v patní části klenby



- rubová železobetonová skořepina



- lící železobetonová skořepina



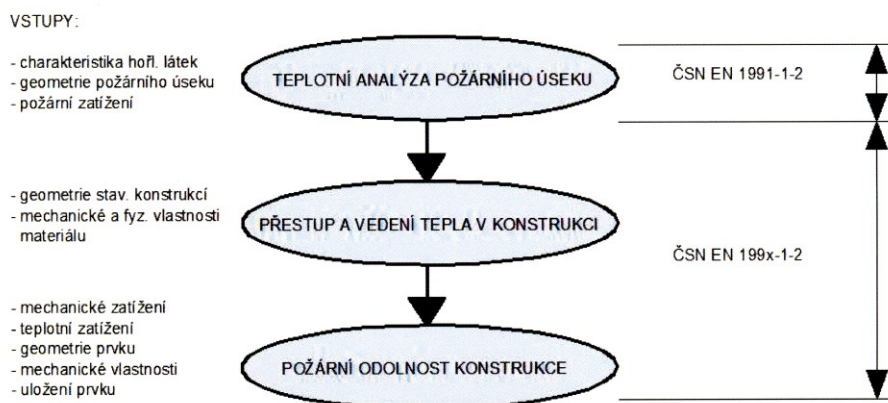
- dodatečně vložená výztuž – helikální , kompozitní výztuž vložená v lici klenby

3.3 Předběžné hodnocení požární odolnosti uvedených metod

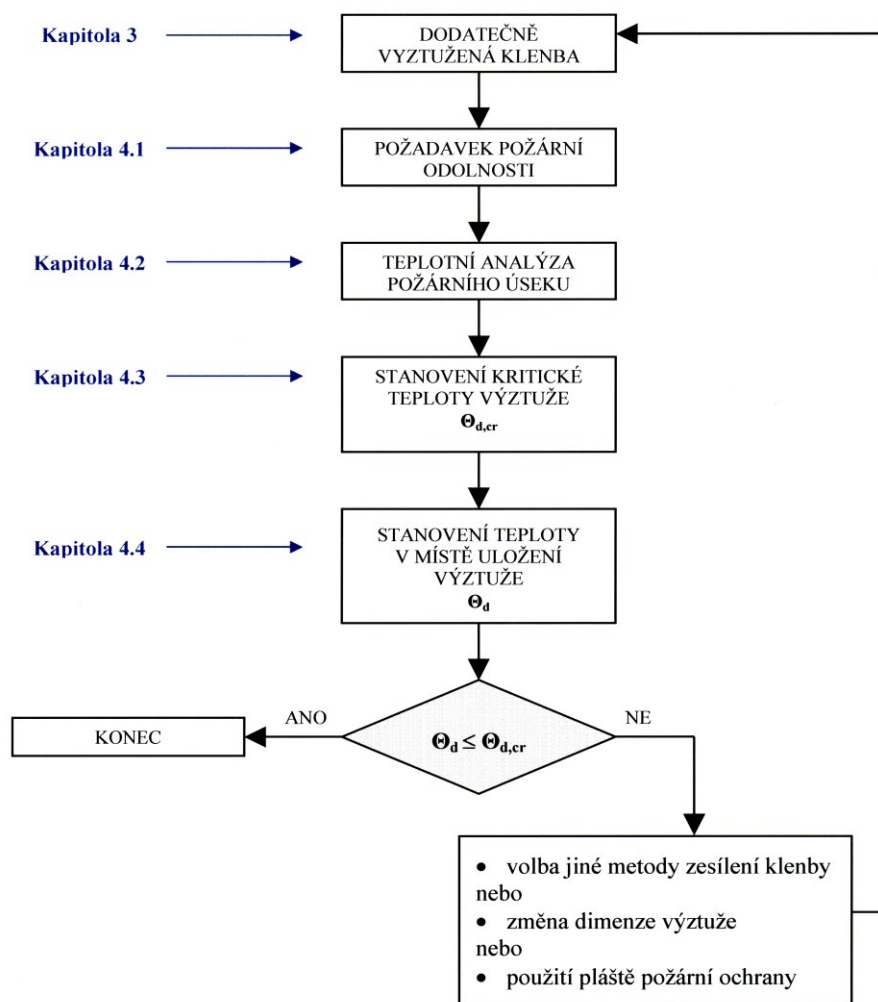
Pro hodnocení požární odolnosti jsou vybrány metody, kdy je dodatečně vložená výztuž v klenbě vystavena účinkům vysokých teplot. Tedy metody, u kterých je výztuž umístěna v líci klenby. Požární odolnost klenby, která je vyztužená na jejím rubu (např. ocelové táhlo v rubu klenby, rubová železobetonová skořepina) vyhovují požární odolnosti až 180 minut, při minimální tloušťce zděné klenby 150 mm.

4. Metodika posouzení požární odolnosti

Výpočet požární odolnosti nosných konstrukcí umožňuje kodex evropských norem EN 199x-1-2. Postupně se řeší teplotní analýza požárního úseku podle ČSN EN 1991-1-2, přestup tepla a vedení tepla v konstrukci s ohledem na druh materiálu, změna materiálových a průřezových parametrů při požáru a stanovení doby požární odolnosti (Obr. 1). Metodika slouží zejména pro hodnocení nových konstrukcí. Pro případ dodatečně vyztužených kleneb je zvolena metoda hodnocení požární odolnosti výztuže klenby a to z hlediska překročení kritické teploty výztuže. Při rekonstrukci klenby a řešení její statiky zajišťuje ztužující prvek (např. ocelové táhlo, předpínací lano nebo železobetonová konstrukce) spolu s původní konstrukcí klenby stabilitu celé konstrukce. Dojde-li ke kolapsu ztužujícího prvku, nelze vyloučit ztrátu únosnosti celé klenby. Proto musí být na ztužující prvky kladeny odpovídající požadavky nejen z hlediska statiky, ale také z hlediska požární bezpečnosti.



Obr. 1 Schéma návrhu stavebních konstrukcí na účinky požáru



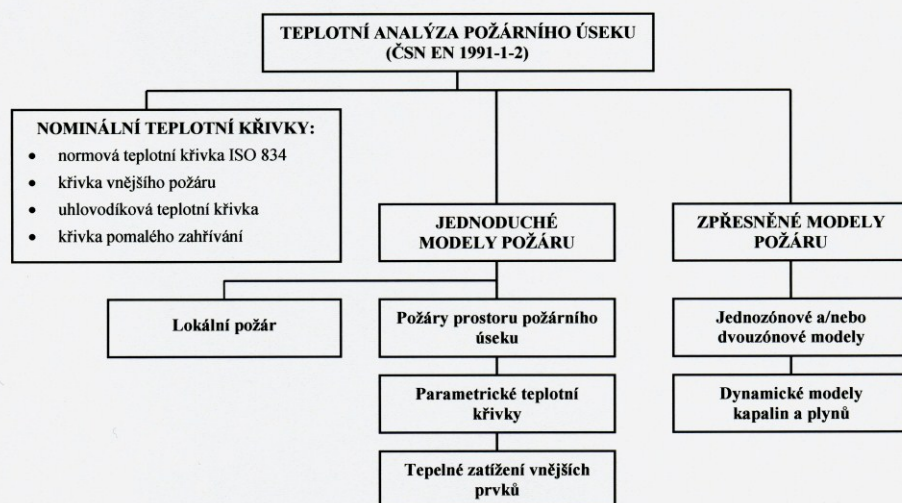
Obr. 2 Schéma posouzení dodatečně vyztužené zděné klenby na účinky požáru

4.1 Požadavek požární odolnosti

Požadavek požární odolnosti klenby vychází z požárně bezpečnostního řešení objektu, např. z požadavků projekčních norem požární bezpečnosti staveb ČSN 73 08xx, případně je stanoven expertním posudkem z oblasti požární bezpečnosti.

4.2 Teplotní analýza požárního úseku

Teplotní analýza požárního úseku se zakládá na matematických modelech požáru. Zjednodušené modely požáru, mající omezenou oblast použití, berou v úvahu předpokládané fyzikální parametry zohledňující zejména hustotu požárního zatížení a podmínky odvětrání prostoru. Zdokonalené a současně zpřesněné modely požáru mj. zohledňují vlastnosti zplodin hoření, přenos hmoty a energie.



Obr. 3 Metody teplotní analýzy požárního úseku [6], [11]

4.3 Stanovení kritické teploty výztuže

Kritické teploty jednotlivých ztužujících prvků uvádí následující přehled:

- ocelové táhlo 540°C [8], [9]
- betonářská výztuž 350°C [7]
- ocelové lano 350°C [9]
- helikální výztuž 350°C [9][9]
- kompozitní materiály 250°C

Kritická teplota ocelového táhla umístěného v lici klenby byla stanovena podle ČSN EN 1993-1-2 pro tepelné namáhání podle normové teplotní křivky. Stupeň využití $\mu_0 = 0,65$ pro posouzení požární odolnosti prvků namáhaných především tahem lze stanovit podle:

$$\mu_0 = \eta_{fi}(\gamma_{M,fi} / \gamma_{M,1}), \quad (1)$$

kde η_{fi} je redukční součinitel účinků zatížení $\eta_{fi} = 0,65$
 $\gamma_{M,fi}$ dílčí součinitel materiálu $\gamma_{M,fi} = 1,0$
 $\gamma_{M,1}$ dílčí součinitel únosnosti při posuzování stability prutů
 $\gamma_{M,1} = 1,0$

Kritická teplota $\Theta_{d,cr}$ táhla stanovená na základě stupně využití má hodnotu 540 °C:

$$\Theta_{d,cr} = 39,19 \ln \left[\left(1 / 0,9674 \cdot \mu_0^{3,833} \right) - 1 \right] + 482 \quad (2)$$

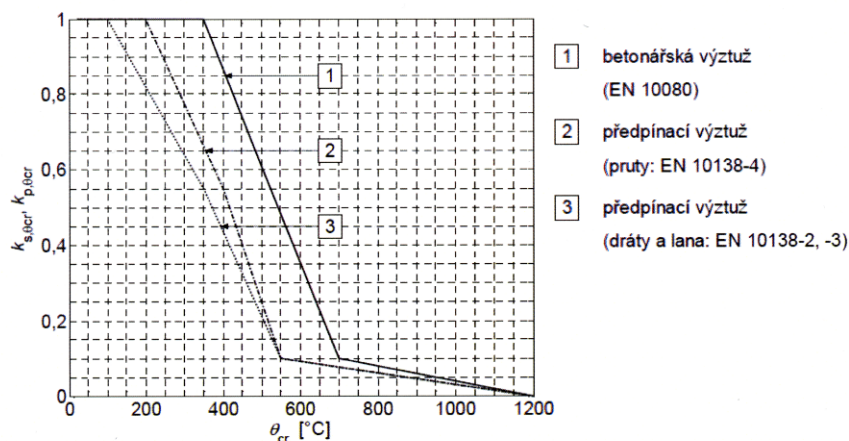
Na základě kritické teploty a stupně využití lze určit podle rovnice 3 mezní průřezové charakteristiky nechráněných ocelových prvků pro požadovanou požární odolnost podle rovnice určující rovnoměrné rozdělení teploty $\Theta_{a,t}$ po krátkých časových krocích Δt v nechráněném ocelovém prvku:

$$\Delta \Theta_{a,t} = k_{sh} \frac{A_m / V}{c_a \cdot \rho_a} \cdot \dot{h}_{net,d} \cdot \Delta t, \quad (3)$$

kde A_m/V je součinitel průřezu ocelového prvku [m^{-1}]
 $\dot{h}_{net,d}$ návrhová hodnota tepelné pohltivosti na jednotku plochy [$W \cdot m^{-2}$]
 c_a měrné teplo oceli, $c_a = 600 [J \cdot kg^{-1} \cdot K^{-1}]$
 ρ_a objemová hmotnost oceli, $\rho_a = 7\,850 [kg \cdot m^{-3}]$
 k_{sh} opravný součinitel zastínění, $k_{sh} = 1$ [9]

Kritická teplota betonářské výztuže je $\Theta_{d,cr} = 500$ °C. V případě předpjatého betonu je betonářská výztuž citlivější a kritická teplota pro předpínací pruty je $\Theta_{cr} = 400$ °C, pro předpínací dráty a lana $\Theta_{cr} = 350$ °C Přesnější hodnoty kritické teploty výztuže lze

vypočítat na základě napětí ve výztuži za požáru a hodnoty redukčního součinitele $k_{s,\Theta_{cr}}$, $k_{p,\Theta_{cr}}$ (viz. Obr. 4)



Obr. 4 Referenční křivky pro určení kritické teploty $\Theta_{d,cr}$ betonářské a předpínací výztuže odpovídající redukčnímu součiniteli $k_{s,\Theta_{cr}}$, $k_{p,\Theta_{cr}}$ [7]

Kritické teploty ocelového lana, předpínacího lana a helikální výztuže byly stanoveny podle požadavků [8]. Pro získání přesnější hodnoty kritické teploty lze postupovat obdobně, jako u stanovení kritické teploty ocelového táhla, respektive na základě stupně využití výztuže určit kritickou teplotu podle rovnice 2.

Kritická teplota kompozitních materiálů je závislá jak na materiálu matrice daného kompozitu, tak materiálu jeho výztužné fáze. Proto nelze kritickou teplotu kompozitních výztuží zobecnit. V rámci této metodiky je pro kompozitní materiály volena kritická teplota podle [12], tedy 250°C.

Obecně lze kritickou teplotu výztuže stanovit na základě *velkorozměrové zkoušky* při předem definovaném předpětí výztuže podle daného teplotního namáhání. Stanovení kritické teploty výztuže na základě experimentu doporučujeme zejména pro kompozitní výztuže, kdy chování výztuže ovlivňuje materiál matrice, ale také polymercementové směsi, která zajišťuje soudržnost kompozitní výztuže se stavební konstrukcí.

4.4 Stanovení teploty v místě uložení výztuže

Teploty v místě uložení výztuže v konstrukci lze stanovit na základě nestacionárního vedení tepla. Teploty v prostoru požárního úseku vychází z matematických modelů požáru. Při výpočtu je nutné zohlednit změny materiálových vlastností v závislosti na vzrůstající

teplotě, konkrétně měrné tepelné kapacity c_a [$\text{J.kg}^{-1}.\text{K}^{-1}$], součinitele tepelné vodivosti λ_a [$\text{W.m}^{-1}.\text{K}^{-1}$] a objemové hmotnosti stavebního materiálu ρ [kg.m^{-3}].

Pro stanovení změn vlastností v závislosti na teplotě betonu lze vycházet z [7]. Konkrétně měrná tepelná kapacita betonu se silikátových a vápencovým kamenivem:

$$\bullet \quad c = 900 [\text{J.kg}^{-1}.\text{K}^{-1}] \quad \text{pro } 20^\circ\text{C} < \Theta \leq 100^\circ\text{C} \quad (4)$$

$$\bullet \quad c = 900 + (\Theta - 100) [\text{J.kg}^{-1}.\text{K}^{-1}] \quad \text{pro } 100^\circ\text{C} < \Theta \leq 200^\circ\text{C} \quad (5)$$

$$\bullet \quad c = 1000 + (\Theta - 200)/2 [\text{J.kg}^{-1}.\text{K}^{-1}] \quad \text{pro } 200^\circ\text{C} < \Theta \leq 400^\circ\text{C} \quad (6)$$

$$\bullet \quad c = 1100 [\text{J.kg}^{-1}.\text{K}^{-1}] \quad \text{pro } 400^\circ\text{C} < \Theta \leq 1200^\circ\text{C} \quad (7)$$

Součinitel tepelné vodivosti betonu λ_a klesá se vzrůstající teplotou. Lze jej definovat horní a spodní hodnotou:

$$\bullet \quad \lambda_a = 2 - 0,2451(\Theta/100) + 0,01070(\Theta/100)^2 [\text{W.m}^{-1}.\text{K}^{-1}] \quad \text{pro } 20^\circ\text{C} < \Theta \leq 1200^\circ\text{C} \quad (8)$$

$$\bullet \quad \lambda_a = 1,36 - 0,136(\Theta/100) + 0,0057(\Theta/100)^2 [\text{W.m}^{-1}.\text{K}^{-1}] \quad \text{pro } 20^\circ\text{C} < \Theta \leq 1200^\circ\text{C} \quad (9)$$

Ztrátou vody obsažené v betonu dochází ke změně objemové hmotnosti materiálu.

Pro výpočty je uvažováno:

$$\bullet \quad \rho = 2100 [\text{kg.m}^{-3}] \quad \text{pro } 20^\circ\text{C} < \Theta \leq 115^\circ\text{C} \quad (10)$$

$$\bullet \quad \rho = 2100 [1 - 0,02(\Theta - 115)/85] [\text{kg.m}^{-3}] \quad \text{pro } 115^\circ\text{C} < \Theta \leq 200^\circ\text{C} \quad (11)$$

$$\bullet \quad \rho = 2100 [0,98 - 0,03(\Theta - 200)/200] [\text{kg.m}^{-3}] \quad \text{pro } 200^\circ\text{C} < \Theta \leq 400^\circ\text{C} \quad (12)$$

$$\bullet \quad \rho = 2100 [0,95 - 0,07(\Theta - 400)/800] [\text{kg.m}^{-3}] \quad \text{pro } 400^\circ\text{C} < \Theta \leq 1200^\circ\text{C} \quad (13)$$

Změna materiálových vlastností zdiva, konkrétně pálených zdících prvků, vychází z přílohy D ČSN EN 1996-1-2 [10] – viz. Graf 1. Z uvedeného grafu byly odvozeny rovnice 14 až 19, konkrétně měrná tepelná kapacita pálených zdících prvků o objemové hmotnosti $900 - 1\,200 \text{ kg.m}^{-3}$:

$$\bullet \quad c_a = 564 [\text{J.kg}^{-1}.\text{K}^{-1}] \quad \text{pro } 20^\circ\text{C} < \Theta < 100^\circ\text{C} \quad (14)$$

$$\bullet \quad c_a = 564 \cdot (33 - 0,14\Theta) [\text{J.kg}^{-1}.\text{K}^{-1}] \quad \text{pro } 100^\circ\text{C} \leq \Theta < 200^\circ\text{C} \quad (15)$$

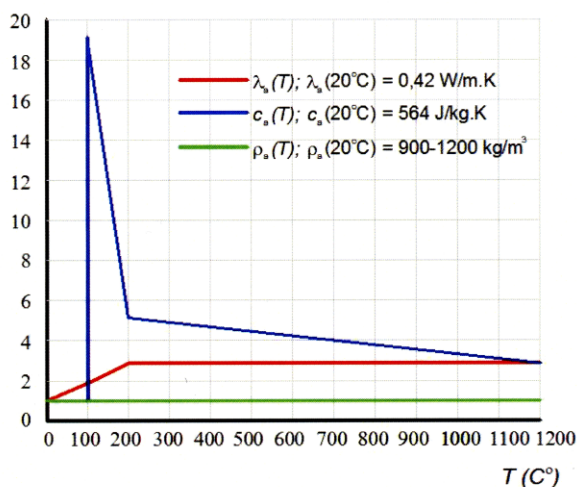
$$\bullet \quad c_a = 564 \cdot (5,8 - 0,004\Theta) [\text{J.kg}^{-1}.\text{K}^{-1}] \quad \text{pro } 200^\circ\text{C} \leq \Theta \leq 1\,200^\circ\text{C} \quad (16)$$

Hodnota součinitele tepelné vodivosti zdiva λ_a vzrůstá do teploty 200°C dále se jeho hodnota považuje za konstantní:

$$\bullet \quad \lambda_a = 0,42 [\text{W.m}^{-1}.\text{K}^{-1}] \quad \text{pro } 20^\circ\text{C} \quad (17)$$

$$\bullet \quad \lambda_a = 0,42 \cdot (0,89 + 0,01\Theta) [\text{W.m}^{-1}.\text{K}^{-1}] \quad \text{pro } 20^\circ\text{C} < \Theta \leq 200^\circ\text{C} \quad (18)$$

$$\bullet \quad \lambda_a = 1,886 [\text{W.m}^{-1}.\text{K}^{-1}] \quad \text{pro } \Theta \geq 200^\circ\text{C} \quad (19)$$



Graf 1 Vliv teploty na hodnoty měrné tepelné kapacity c_a a součinitele prostupu tepla λ_a pálených zdících prvků o objemové hmotnosti v rozmezí 900 – 1200 kg/m³ [10]

Při stanovení teploty v místě uložení výztuže lze zohlednit vrstvu omítky, vlastnosti základních omítek jsou získány z [3].

Pojivo/malta	ρ [kg.m ⁻³]	λ [W.m ⁻¹ .K ⁻¹]	c [J.kg ⁻¹ .K ⁻¹]
Malta vápenná	1 600	0,87	840
Malta vápenocementová	1 850	0,97	840
Malta cementová	2 000	1,16	840
Omítka vápenná	1 600	0,88	840
Omítka vápenocementová	2 000	0,99	790
Omítka perlitová	250 - 500	0,10 – 0,18	850

Tab. 1 Charakteristiky základních omítek a maltovin [3]

Z dostupných normativních dokumentů byly shrnuty vstupní data – vlastnosti jednotlivých materiálů – pro stanovení teploty v místě uložení výztuže. Pro získání přesných hodnot konkrétních materiálů zděných kleneb je nutné podrobit stávající stavební materiál zděné klenby zkouškám pro stanovení charakteristických hodnot.

Pro stanovení teploty v místě uložení výztuže Θ_d nestacionárním vedením tepla lze využít výpočtový software. Požadavky na výpočetní program jsou následující:

- software umožňuje výpočet jednorozměrného nestacionárního vedení tepla,

- pro stanovení rozložení teplot v prostoru lze využít minimálně teplotní analýzu podle normové teplotní křivky (pro detailní výpočet je vhodné možnost zadání teplotní analýzy podle jednoduchých modelů požáru),
- software umožňuje zadání vlastností stavebních materiálů a jejich změn v závislosti na nárůstu teploty,
- software umožňuje výpočet nestacionárního vedení tepla vícevrstvou konstrukcí,
- teplotu v konstrukci lze stanovit po předem nastavených krocích, případně v konkrétní vzdálenosti od líce konstrukce.

5. Vzorová případová studie

Posouzení požární odolnosti dodatečně vyztužené klenby za pomoci ocelového táhla, umístěného v patách klenby na požadavek požární odolnosti R 15. Ocelové táhlo je kruhového průřezu o průměru 45 mm. Teplotní namáhání je zvoleno podle normové teplotní křivky.

Vstupní hodnoty:

$\mu_0 = 0,65$	stupeň využití
$\Theta_{a,cr} = 540\text{ }^{\circ}\text{C}$	kritická teplota, určená na základě stupně využití
$A_m/V = 89\text{ m}^{-1}$	součinitel průřezu
$c_a = 600\text{ J.kg}^{-1}.\text{K}^{-1}$	měrná tepelná kapacita oceli
$\rho = 7\,850\text{ kg.m}^{-3}$	objemová hmotnost oceli

Výstupy:

Tab. 2 - rozdělení teploty $\Theta_{a,t}$ po krátkých časových krocích Δt v ocelovém táhlu

t [min]	$h_{net,d}\text{ [W.m}^{-2}\text{]}$	$\Theta_{a,t}\text{ [}^{\circ}\text{C]}$
15,917	31940	530,2
16	31791	532,9
16,083	31640	535,7
16,167	31488	538,5
16,25	31334	541,2

Kritická teplota ocelového táhla 540°C byla dosažena v 16 minutě trvání požáru při teplotním namáhání podle normové teplotní křivky.

Závěr:

Dodatečně vyztužená klenba ocelovým táhlem kruhového průřezu $\varnothing 45\text{ mm}$ vyhovuje požadavku požární odolnosti R 15.

6. Podklady

- [1] ČSN 73 0834. *Požární bezpečnost staveb - Změny staveb*. Praha: ČNI, březen 2011. 21 s.
- [2] ČSN 73 0834 Změna Z1. *Požární bezpečnost staveb - Změny staveb*. Praha: ČNI, červenec 2011. 15 s.
- [3] ČSN 73 0540-3 *Tepelná ochrana budov. Část 3: Výpočtové hodnoty veličin pro navrhování a ověřování*. Praha: ČNI, květen 1994. 40 s.
- [4] ČSN 73 0821 ed.2. *Požární bezpečnost staveb – Hodnoty požární odolnosti stavebních konstrukcí*. Praha: ČNI, květen 2007. 18 s.
- [5] ČSN ISO 13822 *Zásady navrhování konstrukcí – Hodnocení existujících konstrukcí*. Praha: ČNI, srpen 2005. 70 s.
- [6] ČSN EN 1991-1-2 *Eurokód 1: Zatížení konstrukcí – Část 1-2: Obecná zatížení – Zatížení konstrukcí vystavených účinkům požáru*. Praha: ČNI, srpen 2004, 55 s.
- [7] ČSN EN 1992-1-2 *Eurokód 2: Navrhování betonových konstrukcí – Část 1-2: Obecná pravidla – Navrhování konstrukcí na účinky požáru*. Praha: ČNI, listopad 2006. 92 s.
- [8] ČSN EN 1993-1-1 *Eurokód 3: Navrhování ocelových konstrukcí – Část 1-1: Obecná pravidla a pravidla pro pozemní stavby*. Praha: ČNI, prosinec 2006, 96 s.
- [9] ČSN EN 1993-1-2 *Eurokód 3: Navrhování ocelových konstrukcí – Část 1-2: Obecná pravidla – Navrhování konstrukcí na účinky požáru*. Praha: ČNI, prosinec 2006, 80 s.
- [10] ČSN EN 1996-1-2 *Eurokód 6: Navrhování zděných konstrukcí – Část 1-2: Obecná pravidla – Navrhování konstrukcí na účinky požáru*. Praha: ČNI, srpen 2006, 84 s.
- [11] Kučera, P., Česelská, T., Matečková, P. *Požární odolnost stavebních konstrukcí*. 1. vyd. Ostrava: Sdružení požárního a bezpečnostního inženýrství, 2010. 176 s. ISBN 978-80-7385-094-4
- [12] Islam, R. *Inventory of FRP strengthening methods in masonry structure*. URL: <<http://upcommons.upc.edu/pfc/bitstream/2099.1/7901/1/01.pdf>> [cit. 2011-11-08]

Příloha B

VÝPOČETNÍ PROGRAM POŽÁRNÍ ODOLNOST DODATEČNĚ VYZTUŽENÝCH KLENEB

1. Úvod

Program slouží pro stanovení dodatečně vyztužených kleneb metodou:

- ocelového táhla umístěného v líci konstrukce,
- lícni železobetonové skořepiny,
- ocelového lana, helikální výztuže umístěné v líci konstrukce,
- kompozitní výztuže umístěné v líci konstrukce.

Program byl vytvořen v tabulkovém procesoru Microsoft Excel 2010, není kompatibilní s nižší verzí procesoru.

2. Využití programu

Výstupní hodnoty programu jsou stanoveny na základě tepelného zatížení stavební konstrukce podle normové teplotní křivky ISO 834. Vlastnosti jednotlivých materiálů vychází z evropských návrhových norem Eurokódů, konkrétně:

- zdivo ČSN EN 1996-1-2,
- ocel ČSN EN 1993-1-2,
- železobeton ČSN EN 1992-1-2.

Výpočetní program vychází z metodiky hodnocení požární odolnosti dodatečně vyztužených kleneb, která byla zpracována v rámci disertační práce „Ochrana kulturního dědictví před požáry“. Program je sestaven pro posouzení mezního stavu únosnosti – *R*.

3. Práce s programem

Program je graficky rozložen do dvou částí – vstupní data a výsledky. Uživatel je oprávněn zadávat hodnoty pouze do ohraničených buněk. Zadávání vstupních hodnot je

doplněno komentářem a grafickým znázorněním. Při nesprávném zadání vstupních hodnot výpočtu program automaticky generuje chybové hlášení ve formě komentáře, případně výsledku výpočtu požární odolnosti lící železobetonové skořepiny „Chyba“.

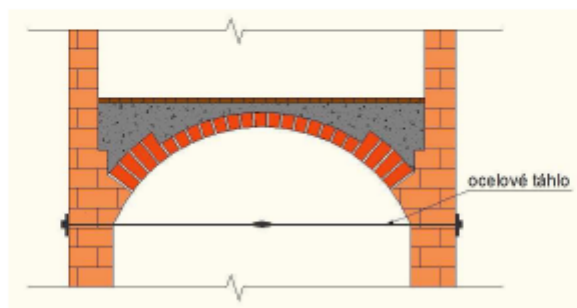
4. Ukázka programu

Hodnocení požární odolnosti dodatečně vyztužených kleneb

Výpočetní program vytvořený v rámci diserační práce
Ochrana kulturního dědictví před požáry




Klenby vyztužené pomocí ocelového táhla umístěného v lici konstrukce

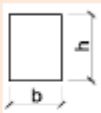


OBLAST ZADÁVÁNÍ
VSTUPNÍCH HODNOT

Vstupní hodnoty:

Ocelový prvek

☒ Kruhový průřez 

☐ Obdélníkový průřez 

$d =$ m

$b =$ m

$h =$ m

Výsledná data:

Posouzení požární odolnosti

Vyhovuje požadavku požární odolnosti R 15?

VÝSLEDNÉ
HODNOTY